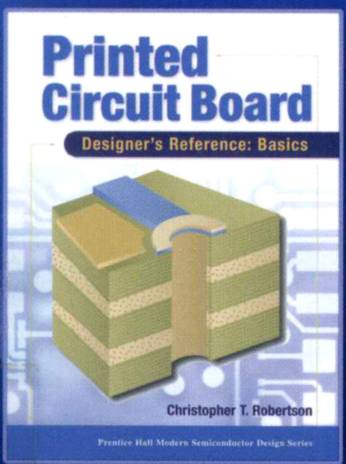
国外电子与通信教材系列

PEARSON

印制电路板（PCB）设计基础



Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics

[美] Christopher T. Robertson 著
刘雷波 译

電子工業出版社
PHEI PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

印制电路板(PCB)设计基础

Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics

电子工业不断影响着现代生活的各个方面，印制电路板（PCB）实际上构成了电子设备的骨架。本书引领初学者进入PCB的设计领域，讲授了PCB设计的标准和技术，并且汇总了该领域的一般性标准和工艺。作者撰写本书的目的就是通过各种参考材料、软件、图表和其他工具，为PCB设计和制造的整个过程提供指导。

通过对本书的学习，初学者可以了解当前所使用的大多数关键设计技术，并为学习更尖端的技术打下良好的基础。本书也为有经验的设计者提供了参考资料，软件及对于制造商来说非常有价值的数据。

本书特点

- 全面、详细地介绍了PCB设计工具和技术。
- 书中所介绍的工具可应用于：日常计算、有用表格、快速参考图表和包括整个设计过程的全面清单。
- 阐明了进行PCB设计中使用的数据参数的来源，以及如何根据不同的应用场合来使用和调整。

Christopher T. Robertson 在PCB行业工作了将近10年。他发展了PCB设计的标准和流程，创建了面向设计新手的培训课程，并且在一本PCB商业杂志开辟了专栏。Robertson还从事过PCB制造、测试、组装等工作，同时他还是IPC委员会的成员。

PEARSON
www.pearson.com

ISBN 978-7-121-19044-5

9 787121 190445 >

定价：38.00 元

PHEI

策划编辑：谭海平
责任编辑：李秦华
责任美编：李　雯

華信 欢迎登录 免费获取优质教学资源 http://www.hxedu.com.cn

国外电子与通信教材系列

印制电路板（PCB）设计基础

Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics

［美］Christopher T. Robertson　著
刘雷波　译

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京・BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍印制电路板设计与制造的基础知识，并且汇总了该领域的一般性标准和工艺。本书提供了日常计算工具、有效的表格、快速参考图及覆盖整个设计过程的完整清单，清楚地解释了数据的来源及使用和调整方式等。读者可以从本书中了解到当今业界使用的关键设计技术，并为学习更先进的技术打下良好的基础。

本书适合PCB设计初学者学习和参考，书中的参考资料和软件对有经验的设计者和相关从业人员也十分有用。

Original edition, entitled Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics, 9780130674814 by Christopher T. Robertson, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR, Copyright © 2003 Pearson Education, Inc.
All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission form Pearson Education, Inc.
Simplified Chinese edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY, Copyright © 2013.
This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale only in the mainland of China exclusively(except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书中文简体字翻译版由Pearson Education（培生教育出版集团）授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。
本书封面贴有Pearson Education（培生教育出版集团）激光防伪标签，无标签者不得销售。
版权贸易合同登记号　图字：01-2012-6287

图书在版编目（CIP）数据

印制电路板(PCB)设计基础/（美）罗伯特森（Robertson, C. T.）著；刘雷波译. —北京：电子工业出版社，2013.1
书名原文：Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics
国外电子与通信教材系列
ISBN 978-7-121-19044-5

Ⅰ. ①印…　Ⅱ. ①罗…　②刘…　Ⅲ. ①印刷电路－计算机辅助设计－高等学校－教材　Ⅳ. ①TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 281624 号

策划编辑：谭海平
责任编辑：李秦华
印　　刷：北京京师印务有限公司
装　　订：北京京师印务有限公司
出版发行：电子工业出版社
　　　　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编　100036
开　　本：787×980　1/16　印张：14.25　字数：342 千字
印　　次：2013 年 1 月第 1 次印刷
定　　价：38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。
质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。
服务热线：（010）88258888。

序

2001年7月间，电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师，商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同，大家认为，这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材，意味着开设了一门好的课程，甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书，对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用，就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代，在原教委教材编审委员会的领导下，汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家，编写、出版了一大批教材；很多院校还根据学校的特点和需要，陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来，随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步，有的教材内容已比较陈旧、落后，难以适应教学的要求，特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天，如何适应这种情况，更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题，除了依靠高校的老师和专家撰写新的符合要求的教科书外，引进和出版一些国外优秀电子与通信教材，尤其是有选择地引进一批英文原版教材，是会有好处的。

一年多来，电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组，选派了富有经验的业务骨干负责有关工作，收集了230余种通信教材和参考书的详细资料，调来了100余种原版教材样书，依靠由20余位专家组成的出版委员会，从中精选了40多种，内容丰富，覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面，既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书，也可作为有关专业人员的参考材料。此外，这批教材，有的翻译为中文，还有部分教材直接影印出版，以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里，我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度，充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步，对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想，无论如何，要做好引进国外教材的工作，一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同，既要注意科学性、学术性，也要重视可读性，要深入浅出，便于读者自学；引进的教材要适应高校教学改革的需要，针对目前一些教材内容较为陈旧的问题，有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书；要与国内出版的教材相配套，安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求，希望它们能放在学生们的课桌上，发挥一定的作用。

最后，预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功，为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题，提出意见和建议，以便再版时更正。

吴佑寿

中国工程院院士、清华大学教授

“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出 版 说 明

进入21世纪以来，我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度，并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是，与世界上其他信息产业发达的国家相比，我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天，我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社，我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向，始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间，我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材，形成了一套“国外计算机科学教材系列”，在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评，得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材，尤其是有选择地引进一批英文原版教材，将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才，也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见，我们决定引进“国外电子与通信教材系列”，并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商，其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等，其中既有本科专业课程教材，也有研究生课程教材，以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求，广大师生可自由选择和自由组合使用。我们还将与国外出版商一起，陆续推出一些教材的教学支持资料，为授课教师提供帮助。

此外，“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助，其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核，并得到教育部高等教育司的批准，纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作，我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望，具有丰富的教学经验，他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外，对于编辑的选择，我们达到了专业对口；对于从英文原书中发现的错误，我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式，逐一进行了修订；同时，我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后，我们将进一步加强同各高校教师的密切关系，努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书，为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足，在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方，恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主　任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委　员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘　彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

译 者 序

在我们的生活中，到处都是像手机、MP3、电视机、POS 机这样的电子产品和嵌入式产品，它们正改变和影响着我们的生活。

印制电路板（Printed Circuit Board，PCB）几乎会出现在每一种电子产品中。如果在某种设备中有电子零件，那么它们都是镶在大小各异的 PCB 上。应该说，PCB 是电子产品的骨架。因此，PCB 的设计技术在某种程度上是电子产品的核心技术。

本书主要讲述了 PCB 设计的一些基础知识和基本概念，以及在行业中经常使用的规范和技术。读者可以从中了解到当今业界使用的关键设计技术，并为学习更先进的技术打下良好基础。本书内容涵盖了 PCB 设计工具和技术，为读者提供了日常计算工具、表格、快速参考图及贯穿整个设计过程的完全清单，并提供了常用数据的出处、用法和调整说明。

本书的作者 Christopher T. Robertson 是美国 PCB 行业的一位资深工程师，他在 PCB 行业的制造、测试、维护、装配及 PCB 设计软件的测试方面有着多年的经验，本书凝结了作者的实践经验，实用性很强。他还参与制定 PCB 设计的规范和流程，为 PCB 设计工程师授课，并为一本 PCB 商业杂志撰写专栏。Robertson 还是 IPC（互连与封装电子电路协会）理事会的会员。

我们把这本书介绍给国内读者，希望能够对 PCB 设计的初学者有所帮助，有经验的 PCB 设计工程师也会获益匪浅，本书还可供电子及相关专业的学生学习印制电路板设计时参考。

由于时间较紧，加之译者水平有限，书中的疏漏和错误难以避免，请读者和专家批评指正。

前　　言

撰写本书的目的，是通过各种参考材料、软件、图表和其他工具，为印制电路板（Printed Circuit Board，PCB）的设计和制造提供指导。

市场上面向初级 PCB 设计者的书目前很少，针对 PCB 制造者也只发布了很有限的一些标准。本书写作过程中的一个困难决定是，我们要公布一些新的没有发表过的信息，这些信息要么相关的研究较少，要么就是其中数据缺乏现成文献资料的支持。历史表明，业界公共的实践和经验完全可以视为是这种尚无正式文献的信息。业内很多 PCB 设计者和领导者认为，不应该提供正式文献没有记载的信息。但是，大多数标准并不是来自于文献，而是来自于经验、常识和讨论。

PCB 设计是以一种不断变化的技术为基础的，这种技术可以进行不断更新和文件编制。本书包含的数据并未得到互连与封装电子电路协会的支持。这些数据是按照设计和制造要求的平均水平所得，也是由成百上千的 PCB 设计者的个人数据抽样得到的。当要求、应用、工艺及个人和公司的标准发生变化时，这些数据也会相应发生变化。

PCB 制造工艺表（参见表 2.1）中的数据也是以全美 PCB 制造商的平均数据为基础的。这些数据可以帮助设计者依据设计的要求来选择制造商，以及根据制造商的能力来进行 PCB 设计。它们是指导设计者根据设计要求和制造能力选择制造商的一套规则。

本书涉及的范围

PCB 设计涉及不计其数的样式、材料、类型及详图，但本书只涵盖 PCB 设计基础部分的内容。本书的进阶版本将涉及弯曲型 PCB/柔软型 PCB、可控电路阻抗、特殊材料等更多主题。本书足以解决 50%～75%的 PCB 设计问题。

PCB 行业总是更关注新工艺和新技术，而忽视了设计的基础。

本书讲述了 PCB 制造的一般过程和常规设计。进行高级 PCB 的设计，要求设计者对 PCB 设计基础知识熟练掌握，而这正是本书的用意所在。

本书的另一个目的在于指出 PCB 行业的不足，以及目前面向初级设计的完整软件的缺乏。很多软件并不支持大多数设计者每天要完成的任务。本书配套的软件可以用来解决这一问题。本书希望引导软件开发商用计算机把解决各种问题的程序汇集在一起，以便节省程序设计的时间，并将这些表格和计算器集成到 PCB 设计软件中。

设计者须知

初级 PCB 设计者需要了解印制电路板和元器件的基础知识，这样才能设计一些简单的印制电路板。此外，掌握计算机辅助设计（CAD）的知识及电子电气的基础知识是必要的。有了这些知识，就可以理解“为什么导线必须这么宽”、“为什么导线之间的安全间距这么宽”等问题。

要掌握 PCB 设计，掌握射频和电磁场的知识也是很重要的。

在美国，很多高速、高频 PCB 的设计师只有高中学历，而很多有大学工程学位的设计者却只能设计简单的 PCB。在美国设计的很多印制电路板都仅仅是简单的低频板，并不需要高学历人才。

PCB 行业的一个问题是设计需求的增长和新的年轻设计者数量的减少。这是由于设计软件和电路板越来越复杂，而设计者待遇却不能提高而造成的。

另一个问题是 PCB 制造行业缺少标准。这造成了设计者之间的分歧和混乱，以及在编制正式文件时的困难。

最后一个问题是 PCB 软件缺少考虑实际问题，因为软件设计者缺乏对 PCB 需求的了解，所以以下日常所需的一些计算常常不能提供：

- 根据电流的要求，立即按层计算出导线的宽度。
- 根据电压的要求，立即按层计算出安全间距。
- 按层计算阻抗。
- 用实际材料值计算焊层并用文档记载。
- 可用材料数据库（从制造商处获得）。

本书的组织方式

本书试图清晰地描述有关数据，包括这些数据的来源，以及怎样对这些数据进行调整。因此，本书具有以下几个特点：

- 方便易用的日常计算工具。
- 易于理解的表格。
- 快速参考图表。
- 始自开发、终于最后，审查整个过程的完整核对清单。
- 定义、说明和用于解释数据和结果的图形。

随着工艺的改进，标准和数据也会随之变化；读者也可用较新的有关数据修改本书内容。本书配套的软件也可以随着工艺的改进而变化，这样就为设计者提供了一个可终身使用的设计工具。

本书约定

本书包含了很多标准和惯例，本节将详述这部分内容。大多数术语在第一次使用时就会

给出定义，或者在本书附录的词汇表中描述。根据是从制造商的角度还是从设计者的角度，术语的名称是不同的，且有些术语是同义的，但在不同的应用场合它们有着不同的含义。

图和表格

本书包含大量图和表格。表格以多栏格式来提供信息，即每一条目占用一行，而数据则占用一列。与表格不同，图通过图片和图形的形式来表现信息。表格和图均按章号和顺序来依次编号。

设计者核对清单

设计者核对清单是对设计过程综合、详细的描述，既能用于各种设计，也可以根据特定的设计应用定制。在保证设计之间的一致性时，这个核对清单提供了经过验证的一种框架。

我们从设计者核对清单中摘录了某些条目，并融入到以下几章中：

- 第 4 章融入了核对清单中原理图输入部分的内容。
- 第 5 章融入了核对清单中设计部分的内容。
- 第 7 章融入了核对清单中输入板检查部分的内容。
- 第 8 章融入了核对清单中组合件绘制的内容。

本书的设计者核对清单旨在为完成 PCB 设计所需的各项检查条目提供指导。

注意和提示

本文中有很多注意和提示的内容。读者应该对这些内容多加留心，因为它们都非常重要。

公制和英制

本书采用英寸①作为长度单位，但是其后的方括号里有等价的公制长度。需要注意的一点是，很多标准值都是基于英制测量系统的，因此以公制设计的 PCB 板上的数值也许不够精确。

实际上，很多零件、系统及制造商仍然以英制为基础，这很可能引起设计者的混淆。所幸的是，零件制造商和标准似乎也开始向公制转变。我们推荐初级设计者一开始就使用公制。

本书提供的软件

本书配套有面向初学者的文档和程序，包括前面所提到的设计者核对清单和设计者参考资源，需要的读者可自 www.awprofessional.com/title/0130674814 下载②。

除此之外，还包括了：

- ANSI 和公制格式的边界区。
- 设计细节图。

---

① 1 英寸=2.54cm——编者注。

② 指在美国出版的原英文版——编者注。

- 穿孔尺寸表。
- 制造注意事项示例。
- 多层板层叠示意图。
- ANSI 和公制格式的标题区。
- 其他相关的浏览器和程序。

相关网站

网站 www.PCBDR.com 提供了与本书相关的更多信息和示例。

致谢

感谢以下诸位：

Carol Robertson 审阅和编辑了本书的初稿。

Judy Eigelsbach 审阅和编辑了本书的第二稿。

James Markham 为本书终审和定稿，并提供了大多数附录材料。

感谢 Bernard Goodwin 对作者的信任并出版此书。

设计者核对清单

电路设计者的要求

初始计划

1）汇集设计要求，包括所需要的元件清单、要求的元器件位置及机械位置和要求。

2）确定是否所需要的元器件都能从已有的库中获得，否则需要创建元件清单。

3）选择设计模板。

4）按照子部分的编号来保存文件。

5）输入设计信息。

6）打开或加载需要的库。

7）元器件和导线一起放置。

8）标注所有的电流、电压、高频、噪声和回路。

9）在印制板设计中，对于大多数常用的铜箔导线和安全间距，加入如下注意事项：“若无特殊说明，所有电路应符合电流小于 0.25 A 和耐受电压小于 30 V 的规范”（适用于 6/6，即 0.006 英寸的铜箔导线和 0.006 英寸的安全间距）。

10）放置电源引线表。

11）放置“最近使用”和“未使用的引线/门电路”表。

12）突出显示电源节点并核对每张图表以确保电路网的连通性。

13）根据设计规则检查有无诸如单节点网络、无节点网络、无连接引脚引线、无连接导线等问题。

14）生成材料表清单（BOM）并对照材料表进行核对。

15）增加必需的注意事项。
16）增加图表编号。
17）打印并再次检查原理图。
18）设置或修改位置、格式和字体等。
19）将所有的节点进行归类。
20）生成节点表。
21）将库存档。
22）进行其他的相关检查：

- 所有芯片的输入终端是否都满足要求。
- 芯片或元器件是否都有必需的滤波电容。
- 主电路和支路是否可以清楚地区分。

印制电路板设计清单

（这一部分内容将在第 5 章进行论述）。

确定约束条件

1）确定印制板的尺寸。
2）确定印制板顶层与底层间的布线间距。
3）注意隔断区、隔断槽及不可用区域的尺寸。
4）确定印制板的厚度。
5）确定边缘间隙区。
6）确定所有的隔断区、隔断槽。
7）确定如开关信息这样的装配需求。
8）对包括金属件、接插件、发光管/LED 和开关等元器件的预定义位置进行标注。
9）在阻焊层不需要阻焊的区域放置一个多边图形以示标记。
10）禁止布线层放阻焊剂，并确定走线之间、过孔之间、焊盘之间、元器件之间的间距要求（根据元器件与孔径公差、元器件移动范围或孔径公差）。
11）按照 IPC 或军用的规范确定要求。
12）确定产品的装配形式，如手工、自动、手工自动结合。
13）确定服务形式：

- 无服务/故障处理（用于试验板、学习板）。
- 初级服务（用于 PCB 上比较廉价、容易更换或只需初级服务应用的元器件）。
- 高级服务（用于 PCB 上比较昂贵、难以更换或需要高级服务应用的元器件）。
- 确定工艺要求及工艺限制。

开始设计

1）打开新文件或加载相应的模板。

2）对焊盘、过孔或文字样式进行标准化检查。

3）在图中心用 0.040 英寸的线画印制板的边框。

4）在图中心用 0.040 英寸的线画印制板中所有的隔断槽和隔断区。

5）输入设计信息。

6）加载库/存档库。

7）加载节点表。

8）生成材料表清单（BOM）并对照材料表进行核对（使材料清单中包括原理图里没有的机械元件）。

9）在预定义的区域放置所需元件。

10）定义相应类别/节点的导线宽度、间隙（安全间距）以及孔间隙。

11）确定其他的设计属性或设计规则。

12）若可行，分层确定铜箔导线和安全间距参数。

13）设定以下方面的设计工作：

- 全部的设计规则
- 阻焊层膨胀（总体的）
- 粘贴膨胀（总体的）
- 内层膨胀（总体的）
- 焊盘膨胀（总体的）
- 热量分离
- 热量间隔

14）确定装配的方向（特别是对于自动装配）。

15）确定元器件的方向。

16）按类型确定区域。

17）从以下方面确定多层板的参数：

- 层数
- 层的对称性（信号层对信号层等）
- 层的方向
- 层的类型（如严格的电源层、数字部分等）
- 分割平面

18）按照印制板、隔断区和隔断槽的轮廓在所有的平面层边缘间隙上敷铜。

19）在电源层上用文字显示网络节点名称（地，+5 V 等）。

20）计算印制板厚度并确定材料是否可用。尽量使用预先确定或曾使用过的材料。或者在设计完成后保留有价值的未用完材料。

21）增加加工孔。

22）在所有的层或镀层上增加基准点。这样不仅有助于设计完成后的调整也有利于制造时校准。

23）在底边用敷铜标示印制板零件号码。

24）印制板修改（用敷铜或手工标示）。

25）层号（按照层号编号的每层有一个胶印）。

26）装配号（丝网层，标于上边缘）。

27）装配修改（留出空白区域以便于手工标示）。

初始检查

1）检查电源引脚是否正确地连接零件相应的极性。

2）检查要求接地的孔是否接地。

3）完成布置定位并准备布线。

手工布线

1）首先布置以下类型的节点：

- 最难布置的节点
- 最复杂的节点
- 布线困难的节点优先
- 强电流的节点（主要布置在外部）
- 高电压的节点（主要布置在内部）
- 敏感节点
- 噪声节点

2）分开模拟和数字部分。

3）布置总线。

自动布线

1）必要时手工布置前面“手工布线”中所讲的项目。

2）确定自动布线的共同属性。

3）确定/选择“常规”、“执行”文件、“布置”文件或“布线图”文件。

4）布线完成后需要做的工作：

- 手工擦除路径

- 斜接直角拐角
- 运行 DRC/按照设计规则确保间距都满足要求
- 检查环孔尺寸
- 改变路径或零件

附加标识

1）静电放电符号。

2）高压警告。

3）运行 DRC/按照设计规则确保间距都满足要求。

4）将参考标识符重新放置于正确的位置。

5）将参考标识符重新编号。

生成制造/装配图

1）以边界为范围绘制层，或包括边界层。

2）以 X 轴和 Y 轴的尺度来标识印制板的尺寸。

3）定位孔到边缘的尺寸（这是作为胶片导出和钻孔时定位确认所用）。

4）任何割断区的尺寸偏差要小于±0.005 英寸。

5）印制板层面信息包括以下方面：

- 层数
- 层的类型
- 层的厚度
- 层的公差
- 敷铜层的类型
- 每层的铜箔导线之间的最小宽度（仅此种特殊情况）
- 整个印制板的厚度
- 整个印制板的允许公差（惯例为±10%）

6）钻孔导向图，包括：

- 孔化后的尺寸
- 孔的类型（电镀的或非电镀的）
- 孔径公差（小于 0.080 英寸的孔径公差不超过±0.003 英寸，大于 0.080 英寸的孔径公差不超过±0.005 英寸，不同的工艺有不同的要求）
- 符号（与装配图相关联或者由光绘文件导出）

7）导出或者装配注释包括：

- 参照的说明或指导，若无其他注解说明（PC 类质量和 SS/DS 或 ML 类型）
- 所使用的材料（主要材料）

8）是否每张图都详细说明了敷铜厚度。
9）最小的铜箔导线宽度和公差（一般±0.003 英寸，最严格±0.001 英寸）。
10）最小间距和公差（一般±0.003 英寸，最严格±0.001 英寸）。
11）每种要求的电镀（加厚电镀，过孔加厚电镀，增强 MFGAR）。
12）孔的电镀最小为 0.0002 mm（通常是外部电镀）。
13）磨光类型：HASL 或涂锡导线（检查可用性）。
14）孔至盘的校准（不允许有裂口）。
15）层层之间的校准（±0.002 英寸）。
16）整体测量公差（每英寸±0.002 英寸，整体±0.005 英寸）。
17）印制板尺寸公差（±0.005 英寸）。
18）割断槽公差（±0.003 英寸到 0.005 英寸）。
19）倾斜度（若要求）。
20）电气测试或收到官方测试结果。如果要求 P.O.或者只作为试验模型。在外加电压 100 V 时，连续每英寸的阻抗小于 5 Ω。
21）一个或几个如下的制造标识（通常置于底边）：

- 盒代码（通常用于军事合同）
- 公司标志（当其他部件也需订购时便于识别）
- 日期代码（便于知道印制板生产日期）
- 批号代码（便于故障维修）
- 电气试验认证标志

22）双绞线扭曲值（差分 0.010 英寸，严格 0.007 英寸）。
23）抽样检测或对于孔化质量的 X 射线检测（印制板质量好坏最重要的方面之一）。
24）其他。

文件编制

1）图标/图表编号。
2）加载或增加信息块以说明如下事项（这些信息可以保存在印制板上直至被从镶板上擦除）：

- 公司名称
- 公司电话
- 层名

- 层数
- 零件号
- 修正
- 图表编号

应用公司详细信息

1)在第 1 页上增加图表修改块(装配图)。

2)增加图表修改部分(边框信息)。

3)更新如下设计信息:

- 日期(每次当文件结束、改动或修改时更新)
- 设计者(设计者姓名)
- 工程师(电气设计师或原理图的申报人)
- 校核者(QC、最终版或工程师的姓名)

4)在第 1 页上增加图表修改块(装配图)。

检查计划(不要求)

1)不必检查印制板就打印每层。

2)检查以下内容:

- 图表层数目
- 数据
- 静电放电符号
- HV 注释
- 加工
- 引脚 1 的检查
- 定位孔的位置
- 印制板尺寸和间隔
- 机械支撑
- 元器件间隔
- 堆砌厚度

正式批准

1)获得工程师对 PCB 板的批准。

2)按规则实现。

3)再次依据原理图生成节点表。

4)再次运行 DRC(设计导则)并比较节点表清单。

输出

1)建立胶片(光绘文件)输出文件或建立数据库输出。

2)输出以下内容(274-X 中):

- 分别输出所有的层
- 输出要求的丝印层
- 分别输出上下阻焊层
- 带标识的装配图
- 钻孔文件(用 ASCII 格式指示校正)

3)导入光绘文件用 CAM/CAD 浏览器打开文件并针对原始设计检查一致性。

文件存档

1)可以在收到印制板或测试完成后进行。

2)妥善保存文件并将文件属性改为只读。

3)如果还需改动,改动后保存于一个新文件并针对相应的图号做出改动说明。

接下来的印制板检查

(这一问题将会在第 7 章中阐述)。

1)目测印制板,检查是否清洁及其外观。

2)检查阻焊层,包括:

- 指定的颜色
- 指定厚度
- 质量
- 污点
- 蚀损斑

3)敷铜是否满足要求。

4)孔是否在焊盘中心(是否成环形并对齐)。

5)孔的尺寸是否正确。

6)是否层已定位。

7)黏附力检验。

8)外观是否与原图相符。

9)丝印层是否与原图相符。

10)全部印制板的尺寸是否正确。

11)印制板有无弯曲。

12)印制板边缘处有无铜。

13）铜箔导线宽度是否在偏差范围内。

14）进行以下项的电气检查：

- 从顶层到底层的几个镀孔（小于 2 Ω）
- 从起点到终端的最长走线（每英寸小于 5 Ω 或指定值）
- 不同节点之间的短接阻抗（应该为开路状态）
- 测试焊盘应该就近（可以知道连续的地方是否连续）

印制电路板装配清单

创建装配图

（这一问题将在第 8 章中阐述）。

1）加载工程图明细表到丝印层。

2）每张图表上注明页数。

3）在装配区或指定区域输入设计信息。

4）针对印制板类型增加基本注释。

5）加载丝印层光绘文件，删除印制板中所有除丝印层外的层。

6）画印制板的侧视图和正视图（包括零件和螺钉等）。

7）利用材料表计算数量。

8）按需要增加注释和数量。

9）将所使用的所有导线计在附加表中，通常附加注释和数量。

10）在所有的组件和装配子件中检查装备硬件。

11）检查锡焊、收缩（所有的锡焊接线点）、黏合处、需要的支架、装配支架和向导。

保形涂料

1）放置虚构线。

2）放置保形涂料间隔的尺寸带数目注释。

3）在丝印层序列号后放置正方块的序列号。

4）增加适当的注释且放置数目。

5）放置适当的分配声明和所有权注释。

6）在所有层中放置改动图表信息。

7）在装配图顶层表中放置改动状态块。

8）获得装配图许可。

9）压缩光绘文件到图形文件。

目　　录

第 1 章　PCB 概述 ………… 1

1.1　PCB 的用途 ………… 1

1.2　PCB 的组成 ………… 2

1.2.1　芯材/芯板 ………… 3

1.2.2　预浸材料 ………… 3

1.2.3　铜箔 ………… 3

1.2.4　铜镀 ………… 4

1.2.5　流焊 ………… 4

1.2.6　阻焊层 ………… 5

1.2.7　导线 ………… 5

1.2.8　焊盘 ………… 6

1.2.9　电镀通孔 ………… 6

1.2.10　无电镀通孔 ………… 7

1.2.11　槽与切口 ………… 8

1.2.12　印制板边缘 ………… 8

1.3　设计过程的简要计划 ………… 8

1.4　小结 ………… 11

第 2 章　面向制造的设计 ………… 12

2.1　关于制造注释 ………… 12

2.2　工艺 ………… 13

2.3　规定生产的限定 ………… 13

2.4　制造图 ………… 16

2.5　制造过程和制造注释 ………… 17

2.5.1　设置 ………… 17

2.5.2　生产设置 ………… 24

2.5.3　成像 ………… 25

2.5.4　蚀刻 ………… 25

2.5.5 化学蚀刻过程 …… 26
2.5.6 等离子蚀刻和激光蚀刻 …… 28
2.5.7 指定导线宽度和误差 …… 28
2.5.8 多层层压 …… 29
2.5.9 钻孔 …… 30
2.5.10 电镀和孔电镀 …… 31
2.5.11 二次钻孔 …… 32
2.5.12 掩模 …… 32
2.5.13 印制板完成 …… 33
2.5.14 网印处理 …… 34
2.5.15 刳刨处理 …… 34
2.5.16 质量控制 …… 34
2.5.17 通孔质量检查 …… 35
2.5.18 电气测试 …… 35
2.6 小结 …… 35
第 3 章 面向装配的设计 …… 37
3.1 焊接通孔元件 …… 37
3.2 合格的焊接点 …… 40
3.3 确定装配的环孔 …… 41
3.4 元件间隔 …… 43
3.5 元件的布局 …… 43
3.6 手动装配与自动装配 …… 44
3.7 单面装配与两面装配 …… 45
3.8 手动装配 …… 45
3.8.1 通孔的置备 …… 46
3.8.2 焊接表面贴装元件 …… 48
3.9 自动装配 …… 49
3.9.1 何时进行自动装配 …… 49
3.9.2 要求的基本要素 …… 49
3.9.3 其他的考虑 …… 50
3.9.4 装配的限制 …… 50
3.9.5 订购电路板 …… 51
3.10 小结 …… 52

第 4 章 原理图和节点表……53
4.1 原理图绘制……53
4.2 了解电……53
4.3 软件术语……54
4.4 其他属性定义……57
4.5 了解元器件……57
4.5.1 符号类型……57
4.5.2 元器件显示……58
4.5.3 节点名……58
4.6 原理图标准……59
4.7 原理图设计清单……62
4.8 原理图风格……62
4.9 图张和设置……62
4.10 连接器和页面连接器……63
4.11 小结……67
第 5 章 设计印制电路板……68
5.1 初始的设计决定……68
5.2 从使用专用工具软件开始……68
5.3 实用程序和附件……69
5.4 标准和材料的归档……69
5.5 收集和定义预备信息……69
5.5.1 利用设计一览表来设计 PCB……70
5.5.2 约束条件……70
5.5.3 工艺驱动的约束条件……70
5.6 定义约束条件和要求……70
5.6.1 定义约束条件……70
5.6.2 类型和可靠性的确定……71
5.6.3 印制板尺寸和表面贴装的使用……71
5.6.4 关于 RF/EMF 的考虑……72
5.6.5 环境的考虑……72
5.6.6 确定要求的印制板面积……72
5.6.7 确定要求的印制板厚度……73
5.7 决定所使用材料的类型……73

5.8 设计印制板 …… 74
5.8.1 选择材料的厚度和铜箔的质量 …… 74
5.8.2 决定铜箔的厚度 …… 75
5.8.3 确定印制线路/宽度 …… 76
5.8.4 标准化线路宽度 …… 76
5.8.5 选择电介质材料 …… 77
5.8.6 确定铜箔厚度、印制线路宽度、层数和工艺 …… 77
5.8.7 焊盘和通孔 …… 81
5.8.8 确定通孔 …… 81
5.8.9 安装孔 …… 85
5.8.10 板厚孔径比 …… 86
5.8.11 确定可应用的制造和定位误差 …… 86
5.8.12 确定 PLTH 的载流容量 …… 89
5.8.13 确定间距/间隙 …… 89
5.8.14 焊剂屏障 …… 91
5.8.15 间隙与板至边缘间隙 …… 92
5.8.16 槽 …… 92
5.8.17 板边缘和槽间隙的生产 …… 92
5.8.18 定位 …… 93
5.8.19 基准 …… 93
5.8.20 元件摆放和布线方法 …… 94
5.8.21 按照已知间距确定导线宽度 …… 95
5.8.22 穿出与散开 …… 96
5.8.23 宽线布线 …… 96
5.8.24 分支电路 …… 96
5.8.25 布线时的元件摆放 …… 97
5.8.26 外形或功能 …… 97
5.8.27 主布线层 …… 97
5.8.28 主布线方向 …… 98
5.8.29 单面板布线 …… 98
5.8.30 弯线或斜线布线 …… 98
5.8.31 总线布线 …… 100
5.8.32 噪声、RF、EMF、串扰和并行线 …… 100
5.8.33 元件摆放和布线的相互影响 …… 101

5.8.34 材料层叠 …… 102
5.9 指定制造商应做的和不应做的 …… 106
5.10 文件存档 …… 106
5.11 模板 …… 106
5.12 小结 …… 107
第 6 章 元件库、元件及数据表 …… 108
6.1 了解元件 …… 108
6.2 元件的一致性 …… 110
6.2.1 元件标准 …… 110
6.2.2 常用元件缩略语 …… 110
6.3 元件符号类型 …… 111
6.4 库命名惯例 …… 112
6.5 普通元件与特定元件 …… 112
6.6 解读数据表和制造商标准——SMD …… 113
6.6.1 制造商提供的封装形式 …… 117
6.6.2 数据表 …… 118
6.7 绘制元件 …… 121
6.8 同一元件的多个方面 …… 121
6.8.1 图样 …… 121
6.8.2 符号 …… 122
6.8.3 标记引脚 1 …… 122
6.8.4 命名元件 …… 123
6.9 小结 …… 123
第 7 章 印制板的完成和检验 …… 124
7.1 为何要检验 …… 124
7.2 小结 …… 127
第 8 章 画装配图 …… 128
8.1 画装配图 …… 128
8.2 确定要求的装配图类型 …… 129
8.3 装配图 …… 130
8.3.1 融合网印网格 …… 132
8.3.2 装配图清单 …… 132
8.3.3 装配说明 …… 134

8.4 装配图最终说明 ······ 136
8.5 小结 ······ 136
附录 A　示例 ······ 137
PCB 制造专用术语表 ······ 147
PCB 制造缩写词 ······ 156
电子学术语 ······ 158
电子缩写词 ······ 186
PCB 设计缩写词 ······ 194

第 1 章　PCB 概述

本章是 PCB（印制电路板）的概述，介绍对 PCB 的基本知识，并详细说明 PCB 所需的材料、物品和图样，以及所收集的信息和设计界定。这些可以保证读者全面了解 PCB 设计需要的各个方面。

要正确地表达设计需求和意图，就必须对 PCB 的材料和术语有基本的了解。后续章节将更加详细地讲述这些内容。

1.1　PCB 的用途

PCB 主要用来在元器件（如电阻、集成电路芯片、接插件）之间创建电气联系。例如，可用在以下设备中：

- 键盘。按下按键，塑料壳下的金属片也被按下，并接通两段导线或接头，使电路导通。
- 万用表。万用表中的 PCB 必须和切换开关对准，并设有一个保护万用表的熔断器，如图 1.1 所示。板上有用来插引线的插孔。装电池的金属片必须与盒子的尺寸和轮廓相符合，并且必须使用跨过印制板的器件，这样便于在盒子的外部对之进行调整。
- 遥控器。为了与包括 PCB 在内的其他电子元器件协同工作，遥控器使用了一个带有 PCB 接口的机械组件组合，如图 1.2 所示。

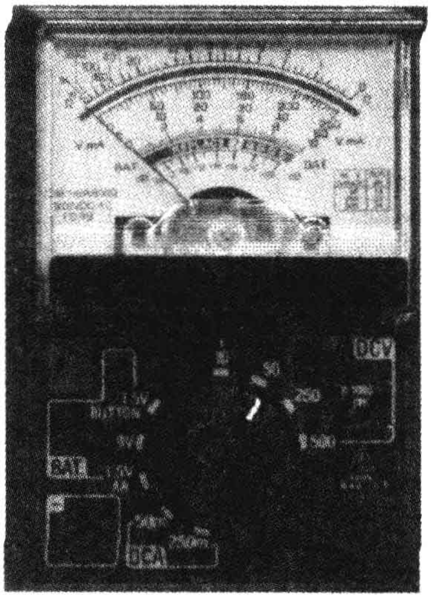


图 1.1　封装表面和内部的万用表

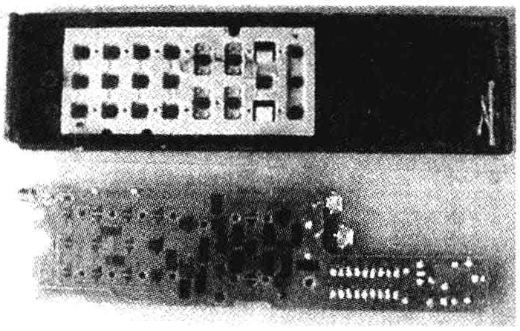


图 1.2　遥控器的 PCB

- 计算机。计算机中的 PCB 是最复杂的印制板中的一种，它支持微处理器、集成电路芯片，并作为其他电路板的接插件，如图 1.3 和图 1.4 所示。

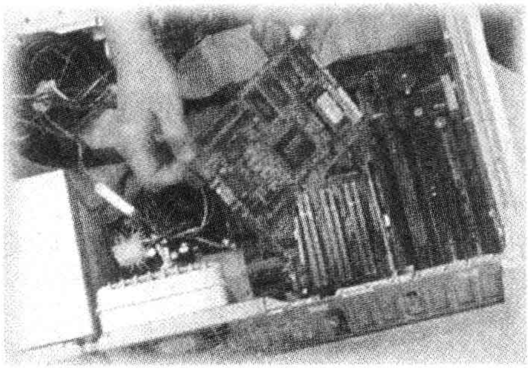


图 1.3　插入计算机的 PCB

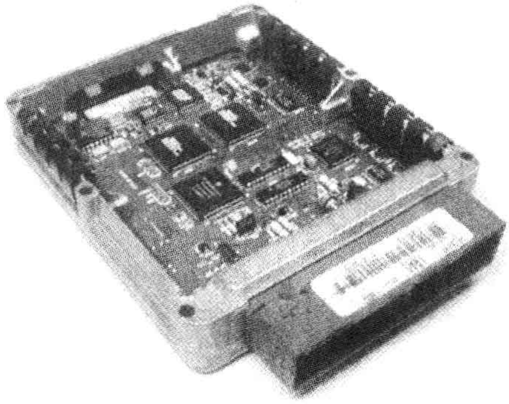


图 1.4　车用计算机

1.2　PCB 的组成

一块简单 PCB 由一块覆铜箔的玻璃纤维材料，或由附着于板两面的铜箔组成，如图 1.5 所示。

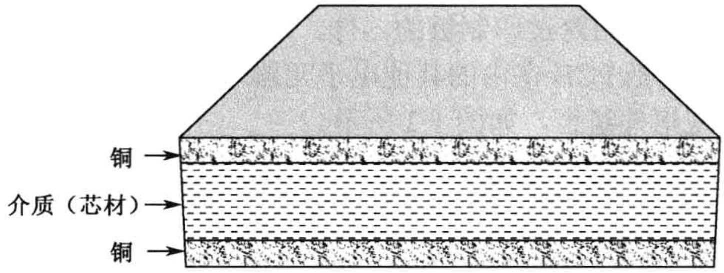


图 1.5　芯材

对于多层板（超过两层铜的板），为了在各个铜层之间（参见图 1.7）构建实心板，在这些芯材之间放置了一片预浸材料（参见图 1.6）。预浸材料与芯材相似，但附加了黏合剂的材料组成，这样它就可以附着于内层的上下。

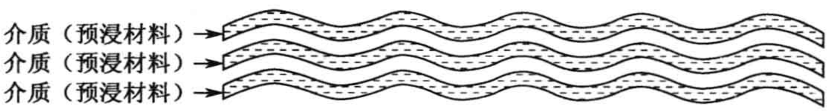


图 1.6　预浸材料

要选择印制板材料和制造商，就必须先了解相关术语，以下阐述了印制板材料和材料构成的术语。

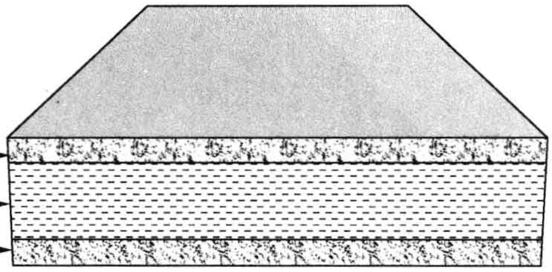


图 1.7　用预浸材料制成的芯材（两种类型中的一种）

1.2.1　芯材/芯板

如图 1.5 所示，芯材是一块玻璃纤维树脂的硬片，两片铜箔附着其两面。有些材料可能只有一面有铜箔。铜箔的厚度用盎司（oz）[①]表示，以下是几种典型的铜箔厚度：

- 1/2 盎司（相当于 0.0007 英寸/0.01778mm）
- 1 盎司（相当于 0.0014 英寸/0.03556mm）
- 2 盎司（相当于 0.0028 英寸/0.07112mm）
- 3 盎司（相当于 0.0042 英寸/0.10668mm）

PCB 制造商通常以盎司作为铜箔厚度的参考单位，但是在叠放和存储 PCB 时，使用英寸和毫米作为参考单位。

1.2.2　预浸材料

预浸材料(Pre-Preg)是由与芯材类似、但质地更柔软而且采用标准尺寸厚度（参见图 1.6）的材料组成。这些片状材料叠放起来，形成以下常用厚度的材料：

- 0.002 英寸（0.0508mm）
- 0.003 英寸（0.0762mm）
- 0.004 英寸（0.1016mm）

在计算厚度时，推荐使用 0.002 英寸（0.0508mm）的倍数或组合来进行计算。

1.2.3　铜箔

铜箔（参见图 1.8）是指放置在预浸材料之上或中间的薄铜片，并且用成为预浸材料一部分的黏合剂将铜箔与预浸材料黏合。铜箔厚度的标准尺寸如下：

- 1/2 盎司（相当于 0.0007 英寸/0.01778mm）
- 1 盎司（相当于 0.0014 英寸/0.03556mm）
- 2 盎司（相当于 0.0028 英寸/0.07112mm）

① 1 盎司（oz）≈28.35g——编者注。

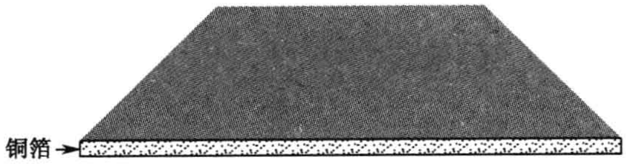


图 1.8　铜箔

1.2.4　铜镀

铜镀主要用于成品印制板的最外层，并且在对印制板钻孔的孔壁进行电镀时，提供额外的厚度。

虽然铜镀的主要目的是对钻孔孔壁电镀，但是也会增加整个印制板的厚度。电镀的平均厚度是 0.0014 英寸（0.0356mm），范围为 0.0012～0.0014 英寸（0.0304～0.0356mm）。

一般来说，在印制板钻孔或印制板的外部铜层被蚀刻后，就需要进行外层电镀处理，如图 1.9 和图 1.10 所示。

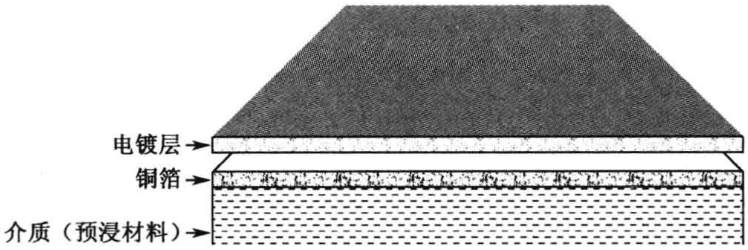


图 1.9　外层电镀

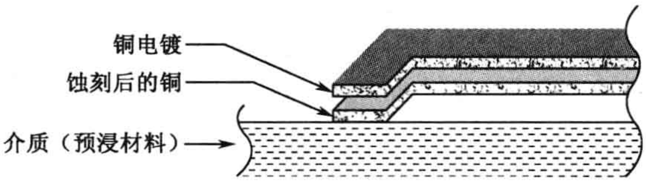


图 1.10　蚀刻后的电镀

1.2.5　流焊

流焊是在印制板的外层裸露铜区域的外表面流过焊锡的处理过程（参见图 1.11）。这一过程可以为印制板的焊接做准备并且防止铜的氧化。印制板上的铜区域可以进行锡流处理，也可以进行一种称为裸铜阻焊(SMOBC)的工艺处理过程。SMOBC 过程是指当整块板被掩模时，只有裸露出铜的区域（通常指焊盘或者要被焊接的区域）被焊锡涂敷的过程。

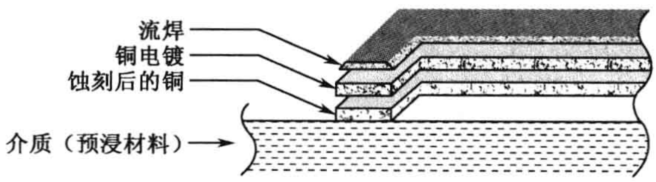


图 1.11　流焊

1.2.6　阻焊层

阻焊层（参见图 1.12）是一种用来对印制板进行涂敷的材料，涂敷有以下目的：

- 防止印制板受到周围环境的损坏。
- 对印制板进行电气绝缘。
- 防止出现焊桥。
- 保护安装在印制板上的元器件。
- 防止印制板受到安装在板上的元器件发热的影响。

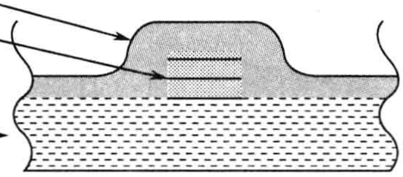


图 1.12　阻焊层

由于不同类型的印制板的大小不同，在进行涂敷之后厚度也不一样，因此有些标准并不将阻焊层视为一个足够的绝缘体。

1.2.7　导线

PCB 上或内的印制导线（trace）是相对电气导线（wire）而言的。当 PCB 的强度足以用来安装元器件时，导线提供将电从一点传送到另一点的功能。

我们在后面将介绍，每块 PCB 的铜层都要经过蚀刻过程，以去掉不需要的铜，只留下所需的导线和焊盘。

导线需要规定的属性是宽度和厚度，与电气导线类似，宽度和厚度的值决定了导线承载的电流大小。导线载流量的经验数据是宽度为 0.010 英寸（0.0254mm）（厚度为 1.5 盎司）的外部导线可承载 1A 电流，宽度为 0.040 英寸（厚度为 0.5 盎司）的内部导线可承载 1A 电流。当然这仅仅是经验数据，精确公式比较复杂，而且导线宽度与承载电流并不呈现标准的倍数关系。上述经验方法可以指导设计，但并未考虑温度和铜厚度影响导线载流量的因素（本书附带软件提供了一个包括所有应考虑因素的计算程序）。

- 温度
- 电流
- 导线宽度
- 内/外层

注意：公式是必要的，但是如果没有正确的工具，公式会很难使用而且浪费时间，这

就是为什么本书配套的软件支持书中大部分公式的原因。

1.2.8 焊盘

焊盘包括几种不同的形状和图样，经常使用的有两种类型的焊盘，通常指表面贴装焊盘和通孔焊盘，如图 1.13 所示。

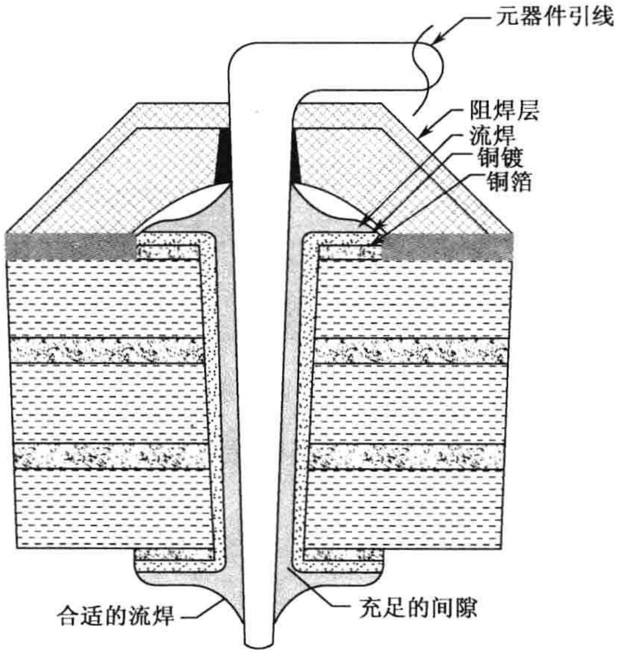


图 1.13 焊接在板上的引线

表面贴装焊盘就是 PCB 上用于贴装表贴元器件的方形或矩形铜区。表面贴装焊盘的尺寸和形状取决于贴装或焊接于焊盘上的元器件。大多数元器件制造商会根据其元器件推荐焊盘尺寸。

通孔焊盘包括电镀通孔焊盘(PLTH)和无电镀通孔焊盘(NPTH)。均为中心有孔的圆形、方形、椭圆形焊盘。通过将引线插入孔中并焊接到焊盘上，使得带引线的元器件得以焊接在 PCB 上。

1.2.9 电镀通孔

如图 1.14 所示，电镀通孔就是焊盘中心有孔的任意形状焊盘。用铜(在某种情况下，可以用焊锡或其他保护型镀层）对孔壁进行电镀。对孔的电镀是从孔的外部扩展并流入孔内，这样就可以使孔壁得到电镀。

电镀通孔有以下优点：

- 由于有外部焊盘的支持，因此可以采用较小的焊盘。

- 焊接时容易散热，也有利于采取较小的焊盘。
- 不管是否有元器件插入，都可连接印制板的顶层和底层。
- 支持印制板由顶部至底部的流焊，并且可以消除印制板两面的锡焊。
- 多层板的内部焊盘连接必须采取电镀孔。

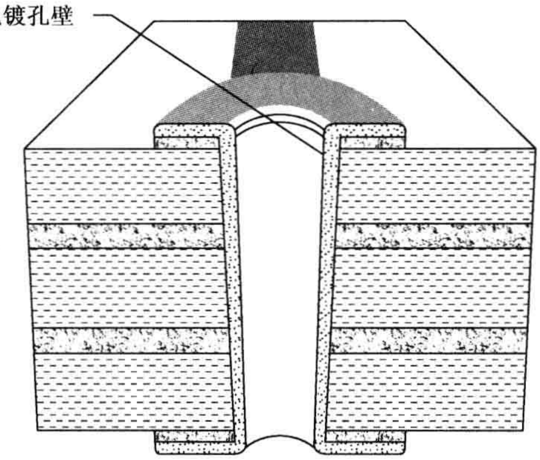


图 1.14　电镀通孔截面图

1.2.10　无电镀通孔

无电镀通孔就是中心有孔的无电镀焊盘。这种焊盘通常应用在单面板或者有螺丝及装配硬件的孔上。图 1.15 为一个在内部铜层上没有间隙的无电镀通孔。在无电镀通孔周围通常有一个清掉所有铜的区域（与印制板边缘类似），以防止插入孔中的元器件引脚与任何铜层短路。如果印制板没有电镀通孔，就无须进行电镀过程，这样做可以降低整体成本（但是反过来必然增大焊盘尺寸），减少可用的表面区域，但是不允许有内部层。

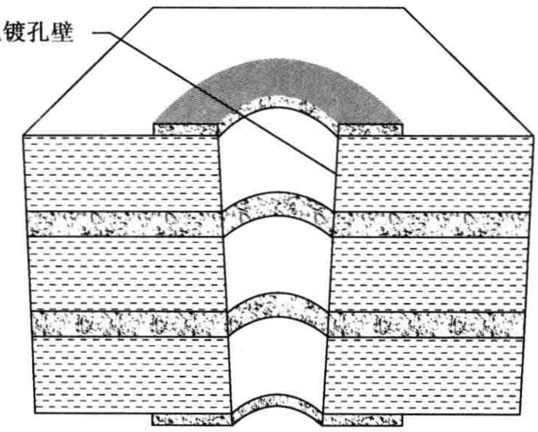


图 1.15　无电镀通孔截面图（无铜层间隙）

1.2.11 槽与切口

槽与切口类似于电镀通孔与无电镀通孔，但因为它们的形状和属性不同而分别定义。PLTH/NPTH 通常是圆孔而非圆焊盘，且孔是钻出来的。在印制板上用刳刨机刀头切割槽或切口，其形状有卵形、椭圆形、圆角方形。除非使用特殊的角冲床，槽与切口的角通常不是方形的。槽与切口用刳刨机刀头切割，因此角的半径应该与刀头半径相同或更大。刳刨机刀头的尺寸取决于板厚度和制造商的能力。在厚板上也可以用小刀头，但是必须缓慢切割以防止破裂，但这会增加时间和成本。

1.2.12 印制板边缘

印制板边缘应该有明确的定义和属性，因为这些数据可以确定印制板的边缘尺寸。印制板边缘是指印制板上暴露出横截面的任意部分，包括槽、切口及板的外缘。

1.3 设计过程的简要计划

整个设计过程是由具体应用和设计者确定的任务来决定的。设计过程可以只简单地定义为设计印制板的规格，也可以定义为将环境、外壳、连接及安装和实现的要求都包括到设计印制板的过程内。本书涉及设计过程的很多方面。本节将明确设计需要收集的信息。

首先，确定功能和图样。印制板是否有尺寸限制？如果没有尺寸限制，那么印制板的尺寸就可以由电路上的元件及它们所占用的面积来确定。

这为工程师提供了一种工作的思路。工程师可以创建电路并将其输入到智能原理图获取程序，其结果如图 1.16 所示。所得到的印制板图如图 1.17 所示。

在这里，原理图数据被获取，并被读入到一个 CAD/CAM 程序里。那些原理图符号被连接到原理图输入程序中的元器件，按照需要排列，并且按照下面的标准及制造和设计约束来进行连接。

设计时应该注意制造规范和指定的限制(参见图 1.18)。

根据制造商的制造能力、制造质量，必要的话还要考虑制造速度，将数据传递给制造商。图 1.19 是发给制造商的两个 Gerber 文件的组合。Gerber 文件是表示印制板图像的电子格式的文件，通常每层印制板为一个文件。组合的 Gerber 文件创建了一个可以表示整个印制板的数据图形文件。

制造商在得到设计者的数据之后，选择需要的、指定的材料，并对印制板进行处理，制造出与设计者的图纸相符的裸板。

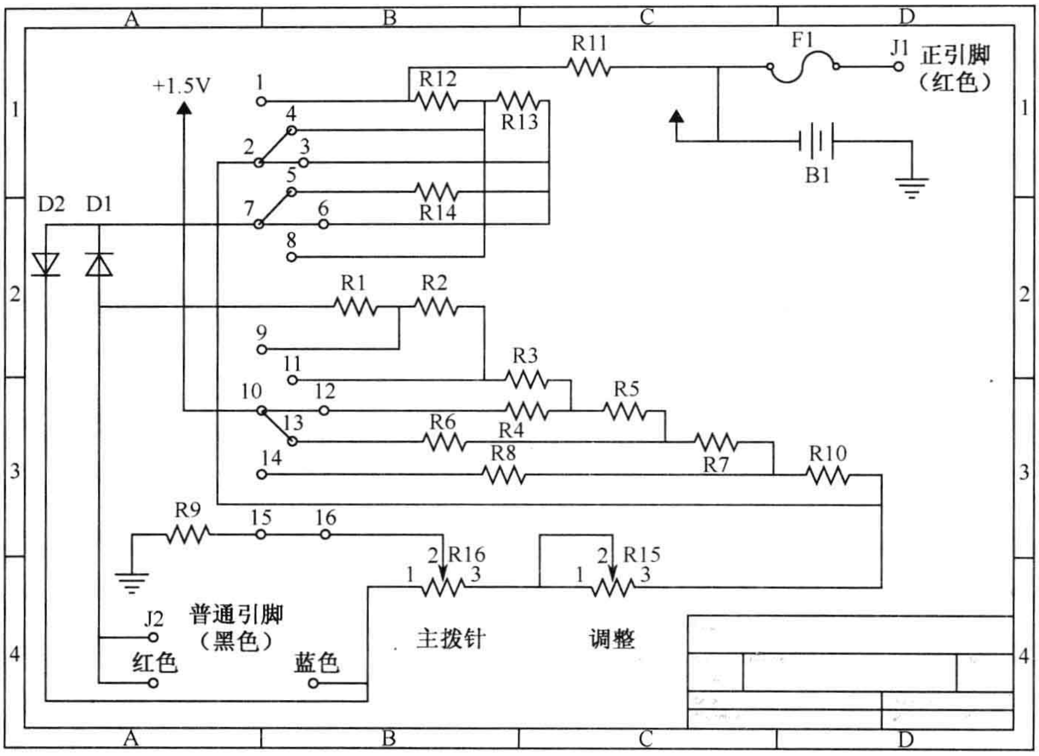


图 1.16　原理图输入获取

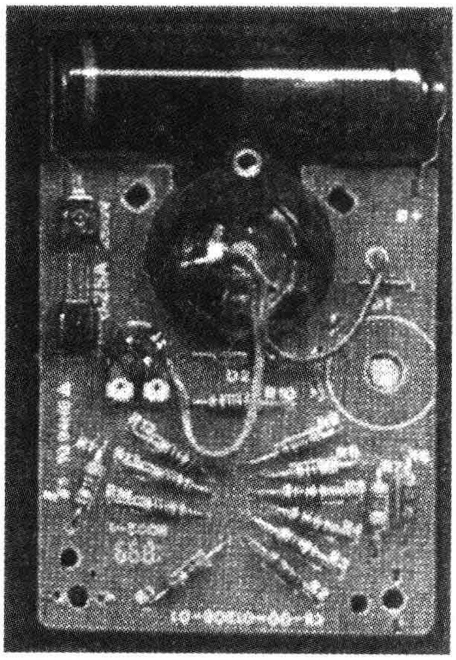


图 1.17　万用表内部印制板图

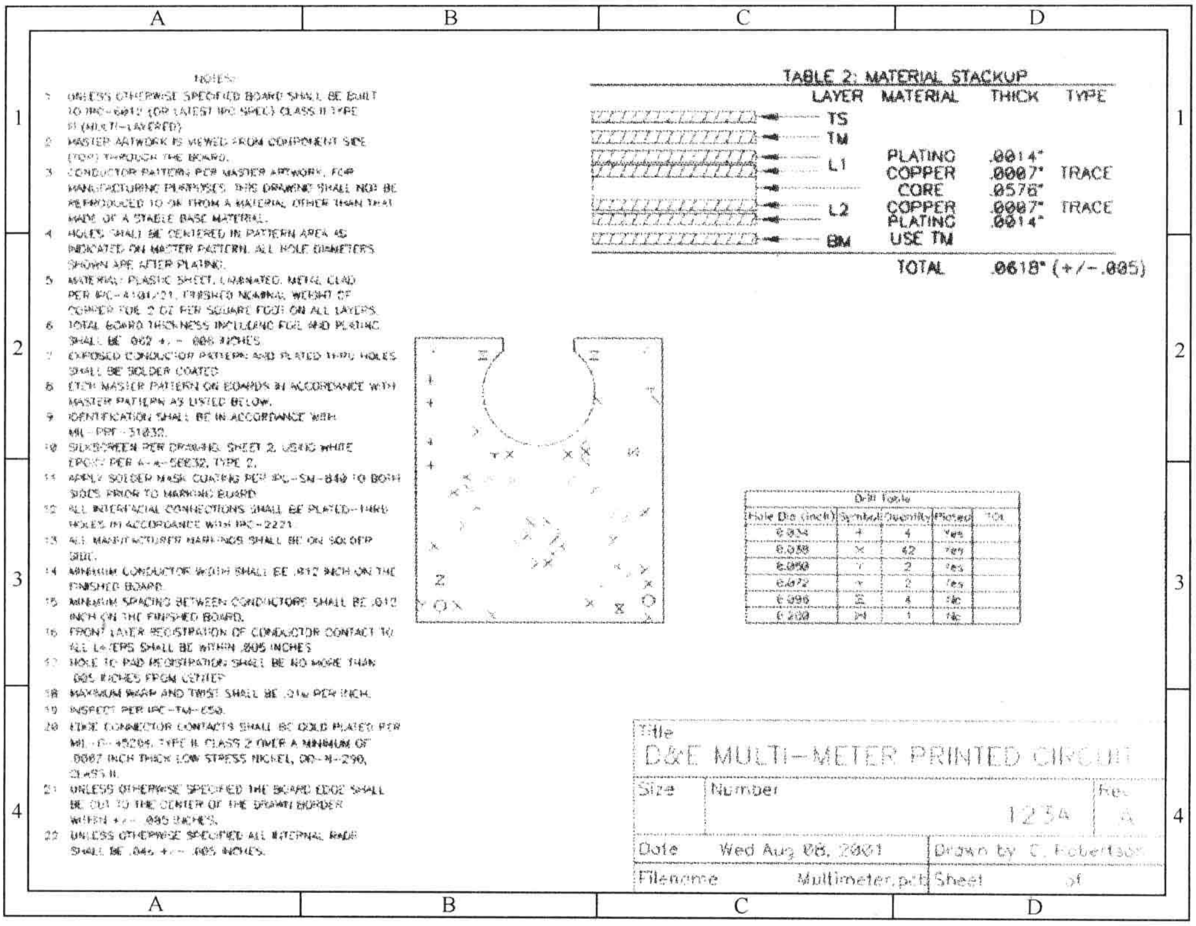


图 1.18　加工图

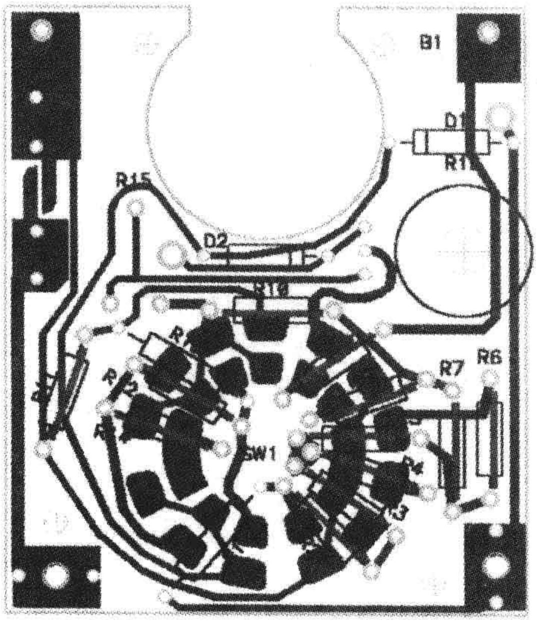


图 1.19　Gerber 层叠放

有时需要将元器件以自动的方式贴装到印制板上。这时印制板和元器件被发给集成商，在集成商那里，元器件被贴装在印制板上。

1.4 小　　结

本章讲述了印制电路板的很多应用场合，以及 PCB 的用途、PCB 的组成。作者展示了所有对象范围、限制及关于 PCB 通常尺寸和厚度约束等的整个领域。在对应用和约束有了基本认识后，简单描述了 PCB 规范的细节和术语，这些细节和术语看似简单，但是在 PCB 设计中起到很重要的作用，需要特别注意和考虑。

通过这些信息，设计者就可以接触制造过程，详细了解印制板实际上是如何制造的，以及每一个处理流程。

第 2 章　面向制造的设计

本章将讲述 PCB 的制造过程及对制造商的要求。根据制造商的限定或约束，可以将它们归到称为“工艺”的类别中。这些类别主要根据成本决定。工艺级别越高，成本也就越高。工艺类别帮助设计者通过对设计进行限制来控制成本。

本章将说明不同工艺的差异，确定制造限定，并详细讲述每个过程，尤其是传统过程及设计者如何为每步过程撰写制造注释(说明)。

由于对每步过程都进行了说明，所以设计者可以了解制造过程的基本知识，并且在必要时可以凭经验对制造注释进行修改。

注意：在本章中，将看到制造(manufacture)和生产(fabricate)这两个词的许多不同之处。这里讨论的制造商是指承担生产印制板的企业。

2.1　关于制造注释

设计者的制造注释可以是附带 PCB 数据文件(如 Gerber 文件或一些其他数据文件)的文本形式的注释的汇总，也可以由传达设计者需求和详细描述制造过程的 PCB 图本身来提供。制造注释是 PCB 过程中一个含义最模糊、最容易使人混淆的部分。很多设计者不知道如何确定这些注释，也不知道该确定什么内容。由于制造商制造能力不同，以及缺少相关的指导原则，使得注释的确定就变得更为困难。设计者在指导制造商如何进行生产之前，必须提出几个问题并且了解生产过程。

制造注释不是为了限制制造商而是提供一致性和在试图调整某些数值时至关重要的起始点。本章所确定数值均基于常规的工艺。

注意：PCB 行业有两种规范，PCB 完成规范和制造规范。

PCB 完成规范是由 IPC、美国军队标准局及 UL(UL 是保险商实验室的商标，这是一个电气/电子工业中制定标准和检测标准的组织)所确定的数值，这些规范是保证制造质量和一致性的需要。

PCB 制造规范取决于制造商所使用的工艺，因此会因制造商的不同而不同。这些规范是制造限定和需要实现完成规范要求的综合。完成规范中的很多内容是基于这些制造数据的(如环孔)，几乎 PCB 的所有部分都受到这些数据的限制(如导线和间距)。设计者必须首先了解设计的限制，这些限制由工艺控制。

2.2 工　　艺

工艺就是如何创建、制造或执行某种目标或功能的知识。在 PCB 设计中，术语工艺不仅指工艺数据类别，还指制造商的能力。这些数据基于制造商设备的性能和整个设计过程。

三个控制点是蚀刻(etch)、钻孔(drill)及定位(registration)，其他性能也会影响整个工艺类别，但这三点最重要。

以前，这些工艺并没有清楚的规定。由于害怕赶走客户或透露太多的信息给竞争对手，制造商对于制定这样的工艺类别并不热心，也没有相关组织或集团对这些数据进行记录和组织。因此，在撰写本书过程中，作者对很多 PCB 制造商进行了调查，并且规定了如下工艺类别：常规的、高级的、领先的和最先进的。随着工艺的升级，数据会不断更新，所以工艺类别的规定也会发生变化。工艺类别及其通常定义如下：

- 常规工艺——工艺的最低和最普通级别，其通常限定是在使用 0.5 盎司铜箔的前提下，最窄导线/最小间距分别为 0.006 英寸/0.006 英寸（6/6mil），最小完成钻孔为 0.012 英寸(0.3048cm)，印制板最大层数为 8～10 层。
- 高级工艺——工艺的第二级，其工艺限定尺寸为 5/5mil，最小完成钻孔为 0.008 英寸(0.2032cm)，印制板最大层数为 15～20 层。
- 领先工艺——基本上是通常用到的最高制造水平，其工艺限定尺寸大约为 2/2mil，最小完成钻孔为 0.006 英寸(0.1524cm)，印制板最大层数为 25～30 层。
- 最先进工艺——没有很明确的规定，因为这一级别的工艺经常变化，其数据也会随时间发生变化，需要不断调整。

注意： 工业中的大多数一般规范都是以常规工艺，即使用 0.5 盎司初始铜箔为基础的。

2.3 规定生产的限定

表 2.1(该表源自对美国 PCB 制造商的调查)提供了 PCB 设计的开始阶段所需要的制造规范。表中的数据是表示制造商能力的最小数据或限定。除非在必要时，设计者不应使用这些数据。建议设计时留有余地，以便更改，而不要强制制造商总是按限定生产。

表 2.1　常规工艺表

类　型	常规级（0.006/0.006，0.010）	注　释
蚀刻背面	0.0014	每盎司铜箔（即每铜面 0.0007 英寸），初始铜箔厚度
导线最小宽度（1/2 盎司起）	0.0060 英寸	每初始铜箔
导线最小宽度（1 盎司起）	0.0070 英寸	

（续表）

类　型	常规级（0.006/0.006，0.010）	注　释
导线最小宽度（2 盎司起）	0.0090 英寸	
导线最小宽度（3 盎司起）	0.0100 英寸	
最小间距（1/2 盎司起）	0.0060 英寸	每初始铜箔
最小间距（1 盎司起）	0.0070 英寸	每初始铜箔
最小间距（2 盎司起）	0.0090 英寸	
最小间距（3 盎司起）	0.0100 英寸	
导线公差(1/2 盎司+/–偏差)	0.0020 英寸	
最小外部初始铜（盎司）	0.5	初始铜箔/初始铜箔+铜镀
最大外部初始铜（盎司）	3	
最小内部初始铜（盎司）	0.5	
最大内部初始铜（盎司）	2	
最小铜镀	0.0014	初始铜箔与镀铜的比例 1/2 盎司 = 0.0007 英寸
完成孔特征	5∶1	板与孔的比例（0.062 的板相当于 0.008 的孔）
最小孔	0.0100	完成孔=最小孔–“孔的上部”（除非电镀厚度增加）
孔公差 PLTH（<0.080）	+/–0.004	
孔公差 PLTH	+/–0.005	
孔公差 NPTH	+/–0.003	
孔公差 NPTH	+/–0.004	
板边缘间隙（平面）	0.020	布线间隙
MFG AR 总计 ML	0.009	
MFG AR 总计 SS/DS	0.006	
图像定位误差	0.003 英寸	
孔定位误差	0.003 英寸	
层叠定位误差	0.003 英寸	
最小预浸材料厚度	0.002 英寸	单片预浸材料厚度
最大预浸材料厚度	0.005 英寸	单片预浸材料厚度
最大板厚度	0.125 英寸	厚度(FR4)
最小板厚度(DS)(核心)	0.008 英寸	不包括电镀
最小 ML	0.020 英寸	不包括电镀(4 层)
最小厚 ML 公差（±10）	10	%
最小材料公差	0.02	标准 FR4
最大板公差	16×22	*X* 英寸/*Y* 英寸
层号	6	最大

注：AR——孔环；SS——丝网印刷面；MSK——模板。要获得特殊的数据和限制请联系制造商。

对于工艺来说，以下是限制设计的一些关键术语和数据，这些术语经常在本书和行业中使用。

- 最小导线——最小导线宽度由工艺和铜厚度决定。上表是最通用的铜厚度。注意：这些数据是基于起始铜厚度的。
- 最小间距——最小间距随铜厚度的增加而增加，除此之外，最小间距是由与其相关的数据决定的。
- 板厚孔径比——一个比例值。第一个数据基本上是第二个数据的除数。例如，8∶1 表示一块厚度为 0.064 英寸(1.6256mm)的板子除以 8，得到孔径为 0.008 英寸（0.2032mm)。一个厚度为 0.125 英寸(3.175mm)的厚板，其孔径不小于 0.015 英寸（0.381mm)。
- 最小钻孔——制造商对其钻孔的尺寸有限制，这一数据表示可以得到的最小钻孔，也表示能保持一致性的最小钻孔。
- 钻孔公差——钻孔公差是制造商工艺的决定因素之一。由于某些原因，钻孔通常并不完美，钻孔公差就是规定已完成孔的范围。
- 最小电镀通孔环——尽管对于完成板有规范和要求，但是对于设计者的孔环，制造商还是要增加最小要求，这个数据是针对电镀通孔的。
- 最小非电镀通孔环——这种孔环更大，其他描述与电镀通孔环相同，本书后面会做介绍。
- 制造孔环——焊盘中超出设计或标准，需要由制造商在生产(成像、钻孔、层定位等)过程中进行弥补的额外数目区域。
- 孔壁(电镀）——对印制板钻孔以后，印制板被放入电解水槽，于是铜片脱落，印制板充电。充电使铜被吸引，使之附着在孔的周围，并且向里长，形成一个套筒。
- 镀铜——在孔的电镀过程中发生，现象是铜附着在仍然保持裸露的铜区域之上。镀铜是孔电镀过程的基本特点。
- 最小掩模间隙——在焊盘或孔的周围，为考虑掩模定位误差而没有阻焊漆的区域。
- 掩模定位——就是关于顶层的图像、数据或板内部的洞的掩模的位置。
- 平均掩模厚度——将掩模用做绝缘体所必须保持的厚度。
- 最小掩模厚度——可一致性生产的最小掩模厚度。
- 网印定位——用于测量顶层到网印层的定位。
- 网印高度——用于测量网印字体高度或所需高度。
- 网印厚度——网印字体的线宽度或笔划宽度。
- 最小布线——可以得到的最小刀头尺寸，任何槽宽都大于或至少等于这个尺寸。
- 最小圆角——通常指最小布线或刀头的 1/2。测量针对内角，所有的内角都小于最小圆角。

- 弯曲和扭曲——也称为翘曲，是从一个实际平面板翘起的量，按英寸计。
- 印制板厚度公差——由于创建印制板材料的累计误差值以及在多层压制过程中的误差，印制板厚度也许会发生变化。

2.4 制 造 图

为了向 PCB 制造商提供设计要求和限制的清晰描述，设计者应该随数据文件向制造商提供制造注释和制造图(参见图 1.18)。这些注释可以写在纸上，但是当采用 Gerber 格式(一种电子图格式)时，它们可以和客户文件一起保留。制造注释应该包括以下基本内容：

- 钻孔尺寸和公差的表格和图例，以及有一个符号图例的数值。
- 带有表示印制板孔的有关符号的印制板图纸。
- 详细说明印制板层数、类型以及厚度的印制板横截面的示意图。
- 制造注释只用于印制板制造过程，不用于印制板装配过程。
- 图中还应该包括校订、数据和公司信息等附属信息以及其他内部跟踪数据。
- 提供制造过程中产生的开口、槽、凹口的详细情况。
- 印制板的外形和边界。
- 提供以 x 和 y 坐标表示的整块板的尺寸。
- 为了便于钻孔排列校验，对于靠近边缘的孔，提供孔离边缘的尺寸(如果印制板上没有孔，则无须此项内容)，以 x 和 y 坐标表示。

没有这些信息，印制板也可以制造出来，但是可能与设计者的期望不符。如果没有提供这些信息，即使生产出的印制板不满足要求，也无法追究。一些设计者不在图中标注准确的边界和尺寸，只是在提供给制造商的 Gerber 文件和钻孔文件的数据中增加一条注释。这样做会增加风险，因为数据和 Gerber 文件同属于产品设计文件，但是没有明显的视觉构造，可能会造成差异。制造注释虽然只是可选项，但是它可以为制造商提供有用的指导，也可以为设计者提供印制板如何制造的有效文档。

在撰写制造注释时，以下是需要遵循的常识和准则：

- 制造注释应清楚、简洁。
- 不应有重复的注释和可能矛盾的数据。
- 应该根据制造商的能力来确定数据。
- 注释应面向制造过程，并向制造商提供检查表。
- 注释应全面且有限度，但不应过多限制制造过程。太多的限制和插入式“过程指定”注释会增加造价和转向的时间。

注意“应该”（shall）表示必须，“可以”（may）表示可选的规范。大多数已生产的制造注释对于未来的印制板也是有用的。因此，设计者应该根据工艺情况分别保存和汇总这些注释到一个大的文本文件。

2.5　制造过程和制造注释

本节将阐述制造注释和制造过程。在制造过程中，有很多步骤，每一步骤都需要有单独的规范。以下各部分将详细说明每一步骤，介绍需要指定的特殊数据，并提供示例注释以供参考。对于每一部分，都会提供下列信息：

- 规定（需要被规定的特定点）
- 示例注释（供设计者参考）

以下就是 PCB 设计的基本步骤（对于某些制造商来说，也许需要增加、减少或重复一些步骤）。

1）设置
2）成像
3）蚀刻
4）多层层压（仅针对多层板）
5）钻孔
6）镀覆
7）掩模
8）印制板完成
9）网印处理
10）刳刨处理
11）质量控制
12）电气检测

2.5.1　设置

设置是对材料、过程以及要求的最初选择和决定。在设置过程中，不涉及实际板的处理，而要决定需要使用哪种材料，要使用多少材料，这些材料该以什么样的顺序摆放等。

1．确定印制板的质量和可靠性

在今天的市场上，材料的品种有所减少，高质量材料正在普遍地被使用，这也减少了制造商的库存。相比印制板的制造，印制板的等级和可靠性问题和设计更加密切相关，一

些军品规定了孔的试样和孔的截面要求以评定孔壁，并要求有印制板的批号和编号。这些选择要求是为了便于质量跟踪和责任确定。这些关键问题通常是由印制板设计者或承包者和他们的用户一起确定的。使用规范包括：

- NHB-5300（美国国家航空和航天管理局）
- Mil-PRF-31032，大部分由 IPC 275 确定
- IPC-6012（6012 用于制造要求）

规定： 如果印制板需要满足以上规范中任何一个要求，那么这些信息需要被记录在制造图纸上。

示例注释： 此板应满足或超过 Mil-PRF-31032 规范，或满足或超过 IPC-6012 规范（IPC 规范现行的制造指导是 IPC-6012。了解指定的规范文件中都确定了哪些数据是非常重要的，设计者应阅读已注明的所有规范）。在规范中应包括印制板质量的等级和类型，以清楚地显示印制板的质量要求（这些规范主要是和 IPC 标准一同使用的）。此板属于II级（质量），III型（多层）。

2．确定热力梯度

热力梯度是指材料开始丧失其稳定性或者损坏的温度值。温度特性不仅由环境决定，而且由制造的数量以及印制板所要经历的组装过程来决定。这些质量因素将在第 3 章中进一步阐述。

规定： 如果没有按照 IPC 规范调出标准材料，就需要确定所需材料的温度特性。这样能确保在自动组装过程中，材料不会剥离。

示例注释： 无。

3．确定芯材类型

制造商库存的大多数材料是符合和超过 IPC 标准的（请参照关于材料的 IPC 4101 规范）。材料的厚度误差不应超过±0.0508mm。芯材是覆盖有铜箔的玻璃纤维介质，如图 2.1 所示。不仅要确定铜箔厚度，还应规定介质的厚度。因为在设计中可能会遇到铜材料与预浸渍的玻璃纤维材料的好几种组合，如图 2.2 所示。

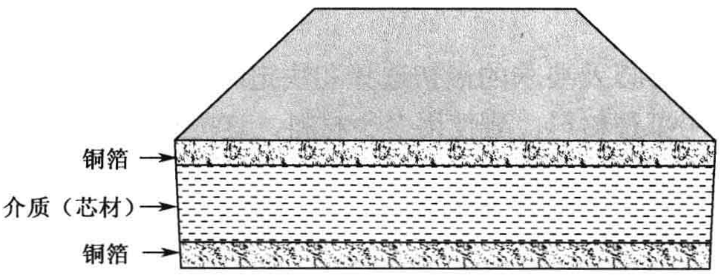


图 2.1 芯材

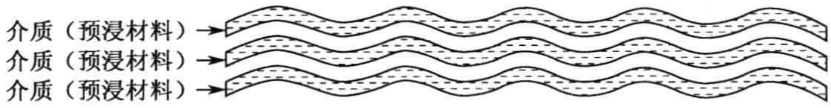


图 2.2　预浸材料

注意：电介质是放置在导体之间充当绝缘体的材料。芯材和预浸材料都属于这种介质。

规定：通过热力梯度额定值和其他属性来规定 IPC 材料，请参照关于材料的 IPC-4101 规范了解需要的类型。

示例注释：芯材根据 IPC-4101/21 规范，有层状板材、铜覆层、GF 型的玻璃布底板，具有耐火能力。要了解推荐的芯材厚度、层叠以及整个印制板的厚度（包括铜箔和铜镀），请参见层叠表。

4．规定预浸材料

预浸材料是带有黏合剂、预浸渍的玻璃纤维类型材料，用于黏附芯材，并且为铜层间提供绝缘体（请参照关于材料的 IPC-4101 规范）。材料的误差应该不超过 0.0254mm。预浸材料被裁剪为每块厚为 0.0508mm 的板材。预浸材料堆积在一起，构成需要的厚度，因此造成了附加的材料误差。

图 2.3 和图 2.4 所示为加压前后的预浸材料。预浸材料原本是单张材料，经堆积叠在一起，形成所需要的厚度。

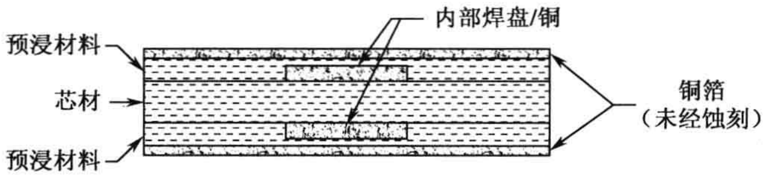


图 2.3　经过加压后的预浸材料

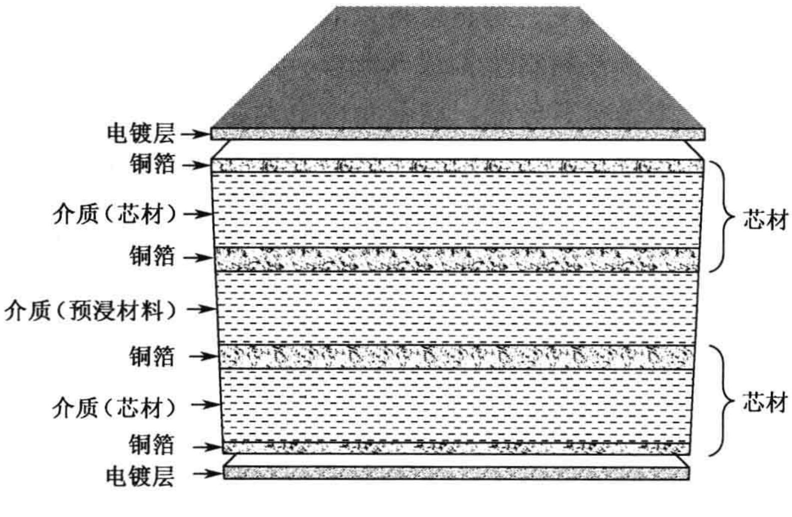


图 2.4　芯材层叠截面

规定：与芯材相同，芯材和预浸材料可以合在一起。

示例注释：预浸材料符合 IPC-4101/21 规范中的规定，要了解推荐的芯材厚度、层叠以及整个印制板的厚度(包括铜箔和铜镀），请参见层叠表。

注意：一般来说，最好不要用芯材或预浸材料的最小误差来限制制造商，除非在阻抗受控的印制板里，厚度变得非常关键。

5．规定层叠

有两种类型的PCB板：单面/两面板和多层板。材料通常是三明治类型的结构，对于芯材来说，这种结构很完美。对于芯材和多层材料的不同材料，测量的方式不同。芯材是用材料的整体厚度来测量。多层材料是用核心电介质和铜层分别测量。

由于材料稀缺，越来越多的制造商仅使用多层印制板。在讨论多层材料时，用“1/1.30”来识别材料，这就是指使用 1 盎司的铜箔夹层 0.300 英寸(0.762mm)的芯材。

注意：在 PCB 行业中，不同形式的度量单位制已成为共有的困难问题。1 盎司相当于 0.0360mm。1mil 相当于 0.0254mm。

相对于芯材来说，多层材料的组成会有更多的变化。我们将在第 5 章中讨论确定使用哪种类型和厚度的多层材料。

注意：为了减少材料的库存和成本，很多制造商只使用多层材料。

对于多层板，可在芯材层叠和铜箔层叠之间进行选择。芯材层叠是一种老式层叠，它利用芯材放在印制板的外层，如图 2.4 所示。

铜箔层叠(如图 2.5 所示)是允许更少限制的新一代层叠方法。例如，如果在四层板上使用芯材层叠，则需要两层芯材，一层预浸材料。这样，制造商必须获得印制板的整体厚度，减去四层铜的厚度以后除以三，这样就可以获得同样厚度两块芯材所使用的材料厚度(或接近值)。用两层和一层预浸材料来构成印制板。如果使用铜箔层叠，印制板的主体是一块芯材，剩下就是两层绝缘材料分配，这就允许更大的灵活性。

设计信息和数据有几种组合，可以通过不同的方法传递给制造商。印制板横截面中的图示法是最清楚的一种方法，它可以提供快速简易的参考。这种方法和特定的制造注释一起，是一种可选的组合。这里，用图形横截面提供了最通用的一些信息。

- 层数——铜层的数目，可以用 L1、L2 等来表示。也可以用类型描述符来描述其他层，如 TS 指顶层网印层，BS 指底层网印层。TM 指顶层阻焊层，BM 指底层阻焊层，如图 2.6 所示，也可以使用描述符表。
- 层类型——描述层或材料的类型，用电介质、芯材、预浸材料等描述绝缘材料，用 Cu 信号层、Cu 接地层、Cu 镀层等描述铜层(Cu 是铜的元素符号)。

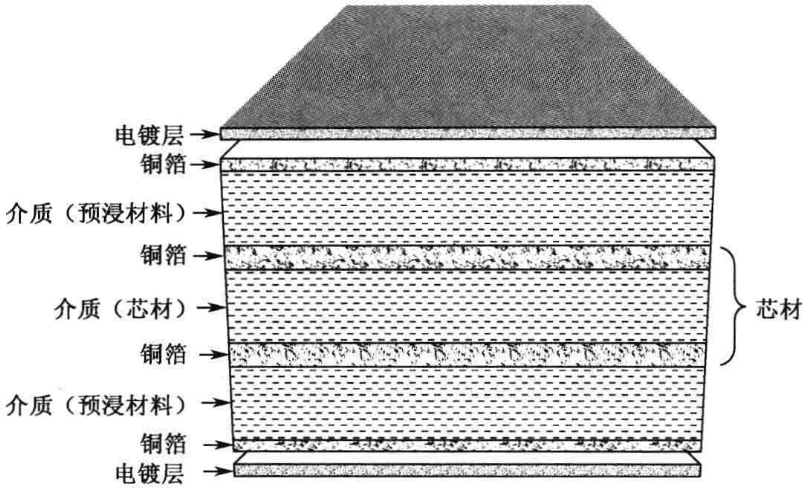


图 2.5　铜箔层叠截面

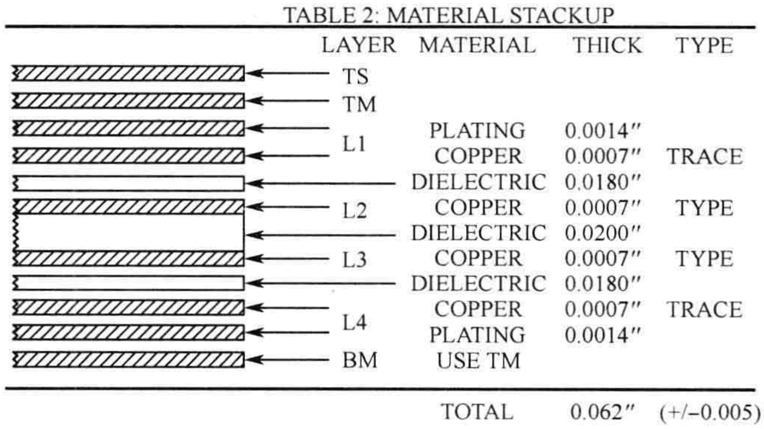


图 2.6　板截面层叠表

- 材料的质量和厚度——质量和厚度组合给设计者和制造商提供参考
- 整块印制板的厚度
- 整块印制板的误差

任何其他必要的有关层规格的因素也应该添加到层叠表中，包括按层控制阻抗和最小导线宽度。通常简单的最小导线宽度注释就已经足够了，但是当导线宽度值达到了工艺最小值时，可能要描述细节以避免混淆。

6．指定层叠注释

要清楚地描述制造限制，层叠注释是必要的。其他方面的注释是关于一些材料安排和独立误差。

确定 IPC 材料规格的同时也指明了材料误差（参见 IPC 材料规范关于每种材料的误差）。

如果没有确定 IPC 材料的规格，那么材料误差必须确定。芯材和预浸材料的误差都应该被指定为大约±（2%～5%）范围以内（0.2032mm 的芯材的范围是 0.18288～0.2235mm，大

到 1.574mm 的芯材的范围是 1.417～1.732mm），所有材料的误差值累积之和就是整块板的厚度误差。较小的印制板厚度误差规格是可以接受的。材料的尺寸不应在其误差的边缘。

所有数据都应该在基本通用数据已知的前提下确定。这些基本数据为误差要求比较严格的场合提供了起点。在正常情况下，铜层厚度的误差并不是一个问题，因为现有的表格和公式提供了内置的安全因数，已经考虑一定程度的误差。大多数制造商其铜层厚度误差为0.0254mm，但是铜镀误差控制起来比较困难。因此，设计者最初指定铜层厚度误差为0.0508mm。0.0508mm 的注释已经被给定，也许随后会被改为 0.0254mm。

对于层叠，设计者规定的数据如下：

- 材料类型——确定材料是铜还是电介质，当确定为电介质时，必须确定是芯材还是预浸材料。
- 铜层厚度——包括全部（完成数据）或每层（完成数据）的厚度以及它们的误差。
- 材料厚度——也要确定全部和每层的厚度及误差。铜层的厚度要保留，以便制造商决定。
- 整体厚度——确定所有材料的整体厚度和误差。再次说明，整体误差是所有材料误差的总和（很多制造商推荐±10%的整体厚度误差）。注意：设计者可以选择是否要包括移去的铜的厚度。

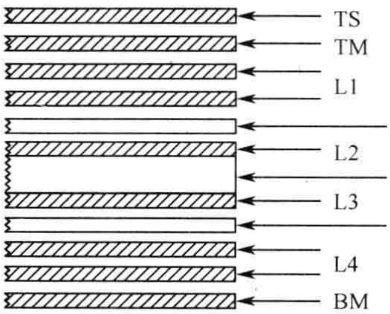
注意：所有数据必须以完成数据的格式规定。

这些数据必须以注释或图表的形式展示。我们推荐使用这两者的组合，以图表描述为主，注释主要针对非层规格的描述。

7. 指定材料类型

同时规定铜和电介质材料不太可能，但可以只规定电介质材料。如果设计者使用常用材料厚度，那么就不需要规定电介质材料类型（参见图 2.6）。设计者应该用注释向制造商说明这是设计者的选择；如果没有注释的话，就说明使用指定材料（参见图 2.7）。

TABLE 2: MATERIAL STACKUP



LAYER	MATERIAL	THICK	TYPE
TS			
TM			
L1	PLATING	0.0014″	
	COPPER	0.0007″	TRACE
	PREPREG	0.0180″	
L2	COPPER	0.0007″	TYPE
	CORE	0.0200″	
L3	COPPER	0.0007″	TYPE
	PREPPEG	0.0180″	
L4	COPPER	0.0007″	TRACE
	PLATING	0.0014″	
BM	USE TM		
	TOTAL	0.062″	(+/–0.005)

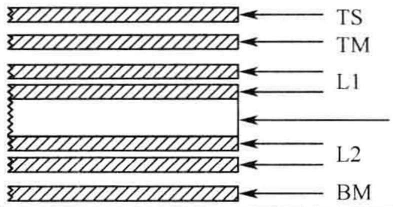
图 2.7　指定材料

注意：电介质材料的使用要根据制造商的决定。

8. 指定铜层厚度

铜层厚度的规定应在如图 2.8 所示的图表中进行，所有铜层厚度的误差则在注释中说明。

TABLE 2: MATERIAL STACKUP



LAYER	MATERIAL	THICK
TS		
TM		
L1	PLATING	0.0014″
	COPPER	0.0014″
	DIELECTRIC	0.0532″
L2	COPPER	0.0014″
	PLATING	0.0014″
BM	USE TM	
	TOTAL	0.0558″ (+/–0.010)

图 2.8　指定铜层厚度

规定：如果 IPC 规范中未规定铜层厚度误差，那么设计者应该给出规定。

示例注释：所有铜层的厚度误差是±0.0508mm。

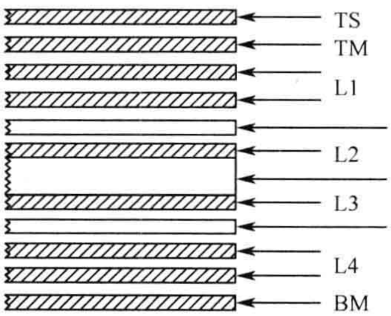
注意：因为铜层厚度的范围比较小，所以本注释可适用于所有图纸。

9. 指定材料误差

如果没有规定 IPC 材料，就需要注明材料误差。要防止出现规定 IPC 材料，但是材料误差却没有规定的情况，还要保证材料实际误差和规定的材料误差是相同的。相互矛盾的数据会延误工期。

规定：材料误差可以分层规定，也可以用整体±误差来表明。图 2.9 所示的图表清楚地表示出每层的误差是多少。如果各层电介质材料和铜层的误差数据一致，那么就可以在注释中用简单的±误差或百分比误差来表示。

TABLE 2: MATERIAL STACKUP



LAYER	MATERIAL	THICK	TYPE	MATERIAL TOLERANCE
TS				
TM				
L1	PLATING	0.0014″		
	COPPER	0.0007″	TRACE	
	PRE-PREG	0.0180″		0.0030″
L2	COPPER	0.0007″	PLANE	
	CORE	0.0280″		0.0020″
L3	COPPER	0.0007″	TRACE	
	PRE-PPEG	0.0140″		0.0030″
L4	COPPER	0.0007″	TRACE	
	PLATING	0.0014″		
BM	USE TM			
	TOTAL	0.062″	(+/–0.010)	

图 2.9　指定材料误差

10．指定整体厚度

印制板的整体厚度由制造商决定。如果设计者想指定特殊的整体厚度，就应该在注释中附上。常规制造商的整体厚度误差是±10%。在不同工艺和材料下，这一数据可能增大或减小。整体误差是所有材料误差的累加和。虽然实际工程中，不会出现所有材料都达到其误差边缘的情况，但是毕竟存在这种可能性。

规定：在层叠表中应该指定整体厚度和误差范围。整体厚度误差为±10%，由于材料误差的累积效应，因此层数较小、较薄的印制板其厚度误差较小。

示例注释：整体厚度的表示方法是 0.0XX±10%。

注意：仅在不显示层叠表时使用。

11．指定双面板和多层板的芯材

多年以前，印制板材料的测量方法是包括铜层的。虽然大多数印制板只是双面板，但是这种材料并不特别标明是双面板材料还是芯材。随着多层板的应用，开始采用新的厚度和类型的材料，这种材料的测量可分按电介质层测量和按铜层测量两种。

在讨论材料时，制造商会说明材料是属于双面板和芯材类型，还是属于多层材料类型。

2.5.2 生产设置

设置是生产过程的一部分，在设置过程中，要对所有信息进行收集、分类和指定，并决定制造能力。

- 制造能力——CAD/CAM 工程师载入 Gerber 文件、钻孔文件和生产图纸（包括注释）后，检查是否有任何制造问题及超出生产能力的项目(这一过程某种程度上在报价阶段进行，但是深层次的检查则在设置过程中进行)。在这一项中还包括材料及材料厚度、铜层厚度、钻孔尺寸、电镀信息以及生产中的其他过程。
- 设计问题——这是制造商要确定是否进行的一个步骤。制造商可能需要检查你的设计是否符合设计规格(例如 IPC 规格)，检查环孔以及间隙(如安装孔间隙和板边缘间隙)是否足够。
- 成像设置——考虑到蚀刻损失，制造商应该增大铜面积(根据尖端工艺)。这样做会增大所有的铜面积，包括导线宽度和焊盘；因此，在蚀刻之后，铜面积应该减少到原始尺寸。
- 制板初始化——印制板尚处于制造初级阶段。需要指定和确认板上的槽和切口。
- 多步版面化——为了加快制造过程，初步制版的印制板被多次放置在 457.2mm×609.6mm 的底板上。底板放置的距离就是刳刨机刀头的宽度。

- 生产最终准备——需要确定钻透整块底板的钻孔路径，以及确定要放置在板上或板周围的铜数量(这与最终板上的铜数量相等)。一些像试样或横截面试样的物件被放置在板的周围。如果必要的话，确定制造商商标(如数据码和制造商 ID)的位置和类型。

2.5.3　成像

成像过程将 Gerber 文件信息的单层影像直接成像到附着在铜上的蚀刻保护层(一种保护涂层)上；或从绘有 Gerber 文件信息的胶片复制到蚀刻保护层上。

在这一过程中，Gerber 文件信息通过光传递到覆盖在铜上的蚀刻保护层，如图 2.10 和图 2.11 所示。

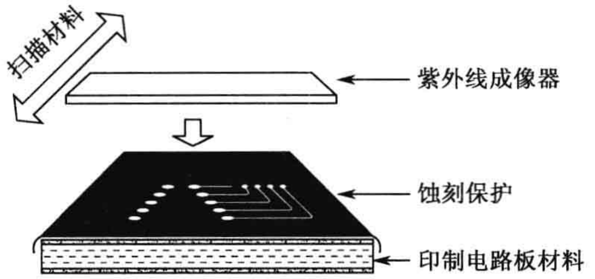


图 2.10　直接成像

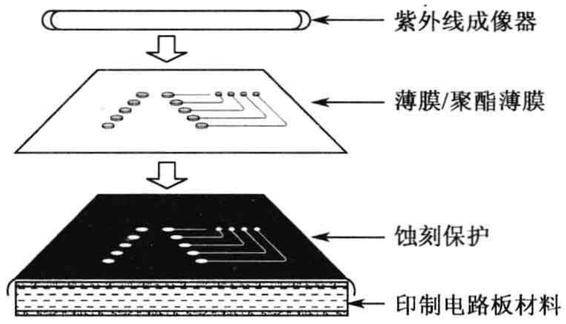


图 2.11　间接成像

规定：数据视图已交付给制造商，图像通过什么方式(直接或间接)传递给材料。这直接与制造商的一部分环孔有关。传统工艺用胶片(间接方式)，环孔的影像部分可达到 0.0762mm。而直接影射可减少到 0.0254mm 到 0.0508mm 之间。

示例注释：制造商的所有商标应位于印制板的底部。而层的影像数据是从顶边向下。影像必须被传递到性能稳定的材料上或直接传递到铜材料上。

2.5.4　蚀刻

蚀刻是用化学物质，腐蚀掉无涂层保护区域的铜(如图 2.12 所示)，这样就可以得到想要的电路了。其他诸如等离子蚀刻等新方法，也是为了完成相同任务。

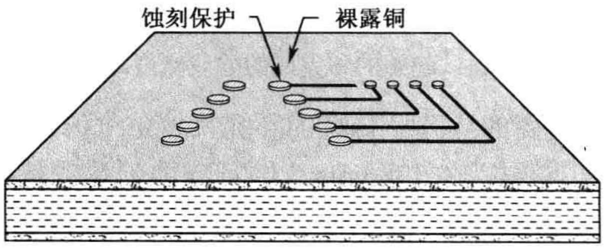


图 2.12　待蚀刻板

2.5.5 化学蚀刻过程

使用传统的化学蚀刻过程腐蚀未保护区。有点像挖沟，是一种可行但低效的方法，如图 2.13 所示。用传统的蚀刻方法，导线(或焊盘)的边缘是畸形的。导线每增高 0.0254mm，其边缘就会产生一定的倾斜。为了保证足够的间距，导线的间隙总是按每两条预先设定的导线的最近点进行测量的。为了在导线的空缺处产生更大的间隙，对每盎司的铜进行蚀刻时需要花更多的时间，如图 2.14 及图 2.15 所示。这就是所谓的蚀刻系数。在制造商不提供清楚的每盎司铜最小间隙列表的前提下，了解制造商的蚀刻系数，对于计算每盎司铜的最小能力是非常重要的。表 2.2 展示了考虑到蚀刻系数，每增加 1 盎司铜对应增加的导线宽度。考虑到导线宽度的增加，表 2.3 就是每盎司铜最小间隙的速查表。从表中我们可以看到，实际的最小间隙确实比协商的数据和性能表中列出的数据小，例如对于 0.5 盎司铜，性能表中列出的参考值是 0.0178mm，这才是设计者所应该考虑的最小间隙。

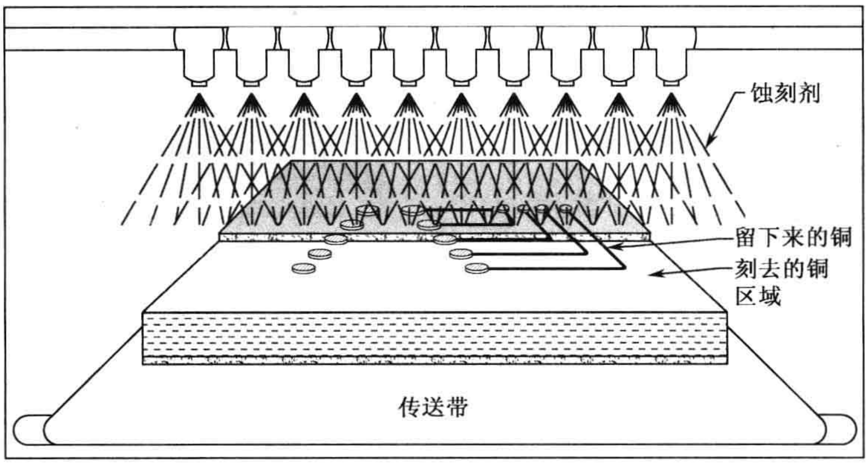


图 2.13 化学蚀刻过程

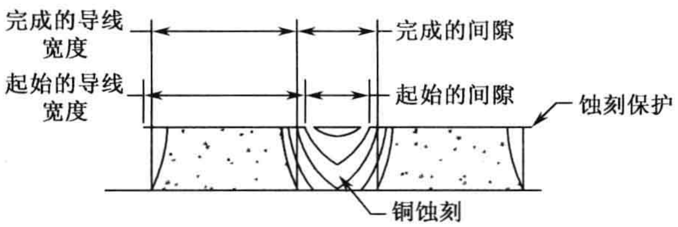


图 2.14 起始的和完成的导线宽度和间隙

蚀刻系数也影响到制造商的环孔。传统的环孔尺寸是 0.0762mm 的成像 +0.0762mm 的钻孔 +0.0762mm 的层叠，总共为 0.2286mm。蚀刻或蚀刻系数是指定工艺等级的四个主项之一。

为了防止保护层脱落并满足化学蚀刻的工艺间距要求，传统蚀刻规定导线间的最小距

离不得低于 0.127mm。考虑到在蚀刻过程中会出现内腐蚀和咬边的现象，导线的宽度应当增大。这一数值是由铜层的厚度决定的。铜层越厚，蚀刻导线之间和保护涂层下铜所花的时间就越长。

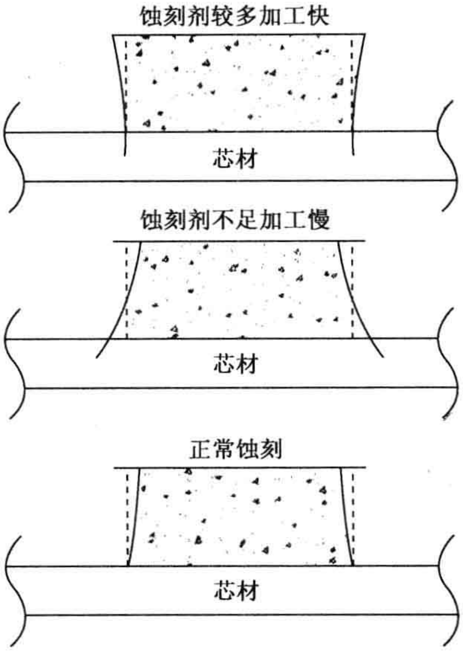


图 2.15 蚀刻误差

表 2.2 加上刻蚀系数的宽度

起 始 盎 司	加 上
0.5	0.0007 英寸(0.0118mm)
1	0.0014 英寸(0.0356mm)
2	0.0028 英寸(0.0711mm)
3	0.0042 英寸(0.1067mm)

有两个数据是化学蚀刻必须考虑的：

- 蚀刻系数——每盎司铜蚀刻的数目。
- 每盎司铜的最小间隙或间距宽度。

传统蚀刻系数(参见表2.2)大约是0.5盎司铜导线宽度为0.0118mm，1盎司铜为0.0356mm。这意味着每增加 1 盎司铜，导线宽度增加 0.0356mm。

根据这些数据，制造商可以增加在底图和胶片上的导线宽度。

根据间隙或间距的要求，为了形成每盎司铜的最小间隙或间距，必须在最小蚀刻间隙或间距基础上增加这一数据，如表 2.3 所示。

表 2.3 每盎司铜的最小间隙

起始盎司	加 上	最小刻蚀间隙	最 小 间 隙	经圆整后
0.5	0.0007 英寸(0.0118mm)	0.005 英寸(0.127mm)	0.0057 英寸(0.1448mm)	0.006 英寸(0.1524mm)
1	0.0014 英寸(0.0356mm)	0.005 英寸(0.127mm)	0.0064 英寸(0.1626mm)	0.007 英寸(0.1178mm)
2	0.0028 英寸(0.071mm)	0.005 英寸(0.127mm)	0.0078 英寸(0.1981mm)	0.008 英寸(0.2032mm)
3	0.0042 英寸(0.1067mm)	0.005 英寸(0.127mm)	0.0092 英寸(0.2337mm)	0.010 英寸(0.254mm)

制造商的蚀刻系数（参见表 2.2）以及铜厚度决定了制造商的每盎司最小导线宽度（参见表 2.3）。6/6 通常指在 0.5 盎司粗铜的条件下，0.1524mm（0.006 英寸）的最小导线宽度和 0.1524mm 的最小导线间距。

2.5.6 等离子蚀刻和激光蚀刻

等离子蚀刻是终结传统化学蚀刻并且创造新工业标准的新蚀刻方法。等离子蚀刻没有内腐蚀现象，此外它还通过直接将印制板的层图像直接传送到材料的所谓直接影射法，消除了影射和胶片带来的误差。这样，蚀刻系数和影射误差系数就消失了，而最小导线和间距宽度以及制造商的环孔都减小了。与 0.2286mm 的传统制造环孔相比，0.0254～0.0508mm 的制造环孔简直太先进了。环孔缩小了0.1178mm，这是通孔和其他非焊电镀穿孔尺寸缩小的主要因素。传统工艺下，0.2032mm 的通孔需要 0.762mm 的焊盘，而采用先进工艺，只需要 0.3048mm 焊盘，减小了 0.4572mm。而采用激光钻孔等方法，可以减小孔的内径，所以焊盘更小。

2.5.7 指定导线宽度和误差

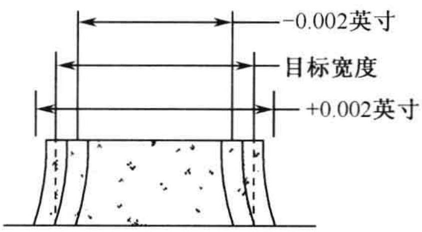


图 2.16 导线宽度容差

导线宽度越小，重复蚀刻就越困难。于是制造商就会限定可重复处理的导线宽度。由于蚀刻系数和内腐蚀，制造商就会增加底图和胶片上的导线宽度和焊盘直径，这样印制板就能以所需的导线宽度（如图 2.16 所示）来完成。这种增加必须建立在最小间距要求的基础上，如果遵从间隙要求，即使铜的厚度增加，最小导线宽度也保持不变。

警告： 请不要试图固定内腐蚀的厚度；这是制造商的工作。

为了考虑内蚀刻，一个有超大尺寸导线的设计将受到工艺的限制，因为不同的制造商有不同的工艺和不同的蚀刻容差。

规定： 最小导线宽度注释不是必须采用，但是推荐采用的，因为制造商会阅读注意事项并确定设计的限制和造价。与任何指定的数据类似，如果没有指定误差，那么制造商就会自动使用一个误差。对于大多数制造商，默认的导线和间距的误差为 0.0508mm。这是推荐的误差值，但是如果实际需要或要求严格，也可能使用 0.0254mm 的误差。

示例注释： 最小导线宽度是0.1524mm（±0.0254mm）。最小导体间距是0.1524mm（±0.0254mm）。制造商根据变化会调整制造过程和文档。

2.5.8 多层层压

多层层压过程就是将几层铜敷层对齐，各层之间放置带黏性的绝缘材料（参见图 2.17），然后在高温高压下进行层压，最终形成一块实心板，如图 2.18 所示。图 2.19 为一块有一层中心偏心的印制板，由于制造商有孔环要求，这块板还是可用的。

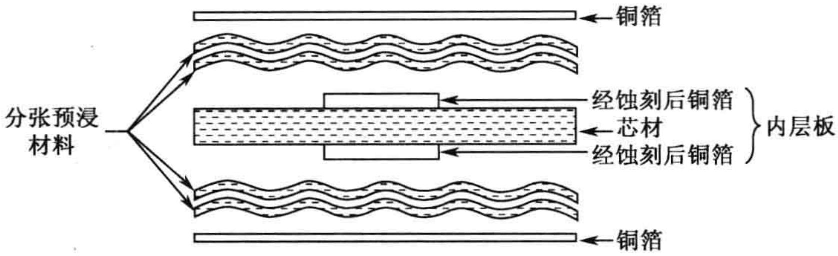


图 2.17　加压前的多层板

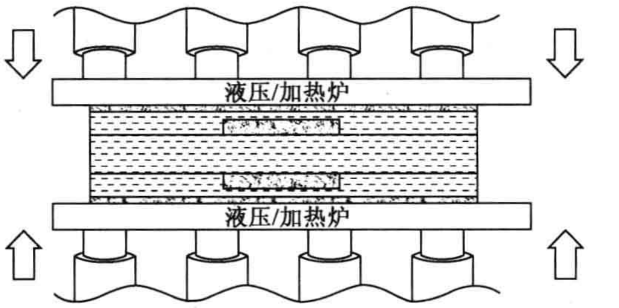


图 2.18　加压过程中的多层板

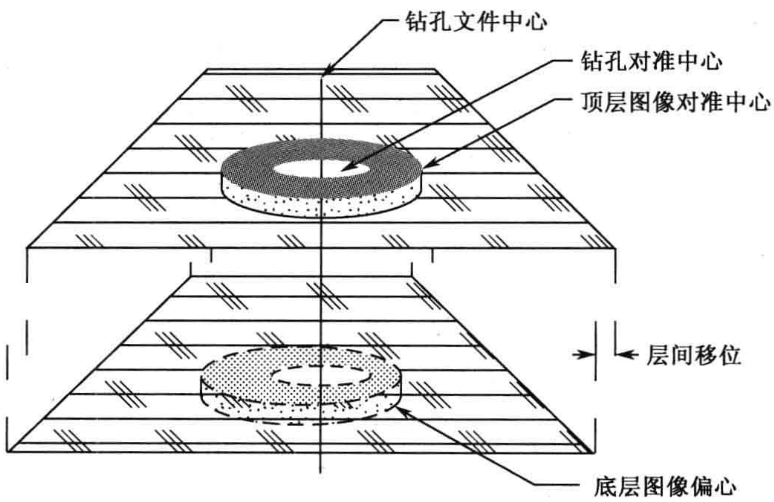


图 2.19　层间偏心

规定：以第一层为参照，确定层与层之间的对齐，这里提供了一个可供其他层参照的常数。

示例注释：距离第一层的层间对齐误差不能超过 0.0762mm，例如，板大小误差每英寸不超过 0.0254mm，整体不超过 0.127mm。

2.5.9 钻孔

钻孔过程是指几块印制板叠放在一起，同时以 0.127～0.1524mm 以上的完成孔尺寸进行钻孔。0.127mm 以上的钻孔尺寸（取决于电镀要求，详情参见 2.5.10 节）主要是考虑到会有一定的电镀金属流入孔内。完全用铜进行钻孔但没有电镀的孔将会在下面一个环节进行电镀（详情参见 2.5.11 节）。

制造商根据印制板的厚度，来限制钻孔的最小使用尺寸。规则是印制板越薄，钻孔机的刀头越小，此数据的表达是板厚孔径比（参见表 2.4），包括粗加工板厚孔径比和完成板厚孔径比。粗加工板厚孔径比是指实际钻孔的尺寸，完成板厚孔径比是指包含了标准电镀以后的尺寸。制造商以实际钻孔尺寸为标准，设计者则以完成孔尺寸为参考。设计者必须确定自己所参考的数据是粗加工板厚孔径比还是完成板厚孔径比。板厚孔径比受最小钻孔机的限制，因此，不管板厚孔径比中的数据是多小，总不能比完成的最小钻孔机更小，粗加工和完成这两个词总是在明确讨论钻孔尺寸和板厚孔径比时使用的。板厚孔径比也总是以电镀之前的印制板为参考的。

表 2.4 完成板厚孔径比速查表

印制板厚度（英寸）	传统工艺（5：1）（最小钻孔尺寸为 0.018 英寸）	现代工艺（8：1）（最小钻孔尺寸为 0.012 英寸）	领先工艺（10：1）（最小钻孔尺寸为 0.008 英寸）
0.010	0.002	0.001	0.001
0.020	0.004	0.002	0.002
0.030	0.006	0.003	0.003
0.040	0.008	0.005	0.004
0.050	0.010	0.006	0.005
0.060	0.012	0.007	0.006
0.070	0.014	0.008	0.007
0.080	0.016	0.010	0.008
0.090	0.018	0.011	0.009
0.100	0.020	0.013	0.010
0.125	0.025	0.016	0.012
0.150	0.030	0.019	0.015
0.175	0.035	0.022	0.017

注：用这些数值乘以 25.4 就等于以毫米为单位的数值；阴影区域小于最小钻孔尺寸。

规定：以图例的形式，即用印制板图上的图符表示来指定钻孔尺寸和误差。如果使用标准的 ASCII 钻孔文件，设计者和制造者通常不会使用图符表示，因为这将增加额外的比较步骤。传统工艺中，小于 2.032mm 的孔误差为 0.0508mm，大于 2.032mm 的孔误差为 0.0762mm。

示例注释：表 2[①]中的钻孔信息应与钻孔数据文件一致。所有钻孔数据都是指完成尺寸的。完成钻孔位置与钻孔数据文件所规定的位置应该不超过 0.1016mm。

规定：钻孔文件孔定位确定以原始钻孔文件为参考的钻孔位置。

示例注释：孔离钻孔文件规定的位置不应超过 0.0508mm。

规定：孔层定位是指所有被测量其他层的相关点。分别确定孔定位和层倾斜度，并且还要考虑无孔的印制板和有关键安装孔的印制板。

示例注释：孔离本层焊盘中心不应超过0.1524mm，离所有层的焊盘中心不应超过 0.2286mm（图像 0.0762mm，定位 0.0762mm，钻孔 0.0762mm）。

2.5.10　电镀和孔电镀

在这一过程中，所有印制板和电镀通孔用铜电镀（如图 2.20 所示）。印制板被放在充电的电解槽里，1盎司的铜会电镀所有的铜表面，并且成丝状进入四周有铜的通孔内，比如焊盘（这样就可以解释为什么四周有铜的已钻非电镀孔还需进行第二次钻孔）。

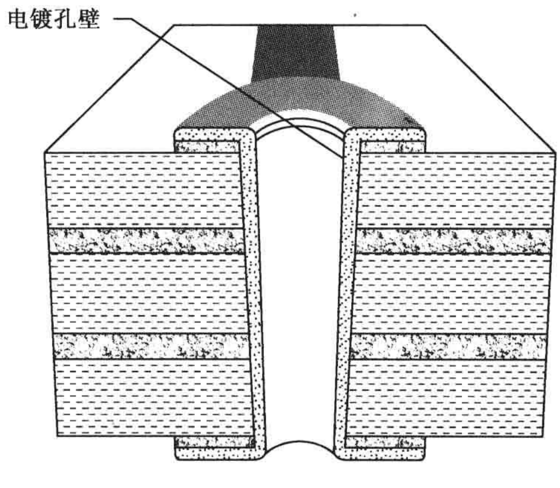


图 2.20　表示孔环的孔截面

孔电镀由外部铜镀的厚度控制。孔电镀实际上比外部电镀薄一点（大约为 0.0004 英寸到 0.0005 英寸）。这对于决定一个电镀通孔的载流电容大小很关键。

如 2.5.13 节所述，印制板被大约 0.025mm 的阻焊漆覆盖，这样就使得孔壁的厚度达到 0.0020mm（误差为 0.0005 英寸）。这样加起来为 0.0635mm，总计就是 0.127mm。这就使得所钻的孔比完成孔大 0.127mm。

① 原书如此，有误，应为表 2.4——编者注。

如果在材料层叠表中，电镀厚度注释比较详细，电镀或孔电镀注释就可以忽略了。

有盲孔或者埋孔的印制板将会经历几次同样的过程，并按照不同的印制板进行处理。最终这些印制板被层压在一起，然后再钻孔和电镀。

图 2.21 显示了受限制的钻孔偏离中心的影响。偏离的钻孔应该在板的两边均产生偏离。

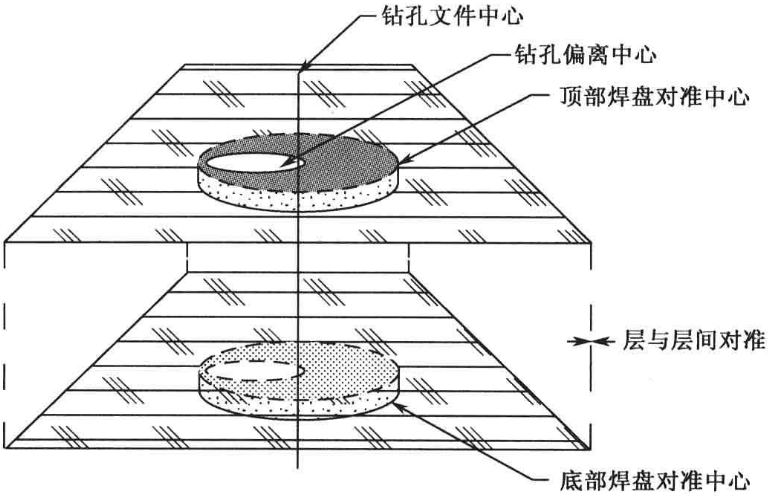


图 2.21 钻孔偏心

规定：不是所有制造商都以相同的厚度进行电镀，因此为了在不同制造商之间保持一致性，电镀厚度应该注释。无须指定电镀误差，因为完成孔误差控制电镀厚度误差。

示例注释：（在材料层叠时，对电镀进行了详细描述）。所有电镀通孔使用比材料层叠表中描述的外部电镀薄 0.0004 英寸的厚度进行电镀。

示例注释：（在材料层叠时，没有详细描述电镀）。所有电镀通孔应以厚度小于 0.025mm 的铜进行电镀。

2.5.11 二次钻孔

当孔位于铜面积上但又不应被电镀时，就需要进行二次钻孔。未电镀孔周围的焊盘就是所谓的非支持性焊盘。电镀可以防止焊盘变形、使焊盘散热，并且在焊接时防止焊锡隆起。这样的孔都增加电镀过程，将会增加总体造价。有两种办法，就是对所有的孔进行电镀，或者在孔周围与铜的区域保留一定的“清洁”区，以消除二次钻孔。

2.5.12 掩模

印制板上需要放置保护掩模层的原因如下（参见图 2.22）：

- 保护印制板不受外部环境的侵害。
- 起到提供绝缘的作用。

- 防止焊盘之间出现焊桥。
- 保护焊盘之间的导线。

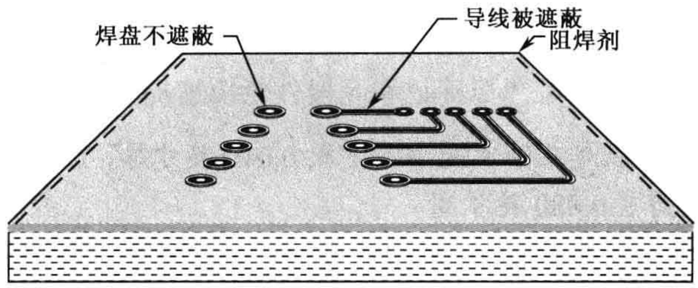


图 2.22　经过掩模的板

掩模层可以放在裸铜（推荐 SMOBC）或焊锡薄膜上。

规定：需要指定掩模面，使用的掩模类型和颜色。掩模层的定位应与掩模层膨胀系数相同。考虑到定位误差，一般来说掩模层膨胀系数应大于焊盘膨胀系数。

示例注释：应使用液态光可成像材料（LPI）对每面印制板进行阻焊处理。材料是绿色（或其他可选颜色）和高透明性的。定位误差不应超过±0.003 英寸，阻焊剂应放置在裸铜上。

选项：阻焊剂放置在裸铜上（SMOBC）。

2.5.13　印制板完成

在印制板上放置阻焊剂之后，只剩下铜焊盘裸露，为了保护铜区域以及准备焊接的区域，焊盘应被涂上一层薄焊锡层。这一步通常是通过热空气焊料整平器（HASL）（参见图 2.23）来实现。不需要规定这一过程。

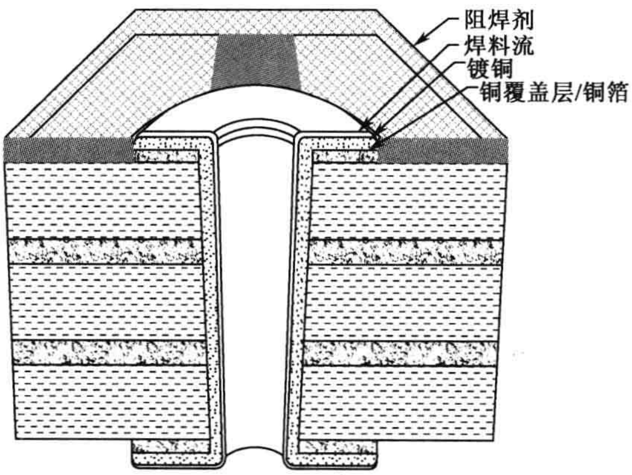


图 2.23　经过遮蔽后的热空气焊料整平器

规定：应在所有裸露的铜表面涂上焊锡。

示例注释：所有裸露的铜区域应用焊锡覆盖。

2.5.14 网印处理

在这一过程中，设计的参考图形标记和元器件轮廓被提出并复制到印制板上。

规定：比较好的网印板厚孔径比是 10∶1 或 0.010 英寸厚，0.100 英寸高。最小网印板厚孔径比是 0.008 英寸厚，0.080 英寸高。

示例注释：网印层应该是黑色(或其他颜色)的 A-A-56032 预浸材料。网印层到顶层的定位误差应该在 0.003 英寸之内。

2.5.15 刳刨处理

刳刨处理在制板上分离成多块印制板，并切割印制板到所需的尺寸。大多数的槽和凹口是在这一过程中被切割出来的。关于放置在印制板上用于帮助切割印制板的标准孔(工具孔)，请联络制造商。所有的边缘和角均由圆刀头切割而成，所以内角必定是圆形的。如果需要 90° 直角，请根据基本信息联系制造商。

整块印制板的尺寸误差应该能达到±0.005 英寸。这就是在印制板的所有边缘必须留有间隙的缘故。对于板边缘、槽、切口，铜箔至边缘间隙为 0.010 英寸至 0.020 英寸再加上所需的电压隔离间隙。

应以两倍于铜箔至板边缘间隙的宽度线来画印制板和所有槽的轮廓。请注意所有切口应位于线的中心。

被电镀的槽应注明，并且沿着所有的层和内层的适当间隙有适当的环孔(与焊盘环孔类似)。不应出现铜(尤其是内部的铜)与刳刨机刀头接触的现象(将在第 5 章进一步讨论这一问题)。

为创建铜到板边缘的距离，印制板轮廓和为槽和切口所画的线应该被复制到所有内板层中。

规定：在制造图的边框应提供印制板刳刨的指导。创建准确的印制板轮廓、槽和开口。最小内径为 0.031 英寸(传统工艺)。要刳刨更复杂的印制板，如果可能的话，应提供至少三个 0.126 英寸的工具孔。

示例注释：所有印制板边缘和切口应按所画边框的中心来切割。整块印制板的误差应为±0.127mm，所有槽误差应为±0.076mm，所有半径误差也应该为±0.076mm。

2.5.16 质量控制

质量控制(QC)即检查印制板是否符合设计者规范以及制造商误差的环节。

规定：在每个不同应用中指定弯曲和扭曲。IPC 提供测量的标准；标准为 0.010 英寸，但如果不需要平直度，可以减少到 0.008 英寸。

示例注释：最大的弯曲和扭曲不应超过每英寸±0.254mm。

2.5.17　通孔质量检查

当多层印制板完成后，由于在 SS/DS 板上没有出现附加系数，所以孔壁的质量是至关重要的。询问制造商是否做了多层板的横截面或横截面样品。如果没有做，除非制造商有检查孔壁质量的其他手段，否则应要求他们做。

2.5.18　电气测试

电气测试检测电路通断和短路，并与原始数据文件相比较。原始数据文件是 Gerber 文件，该文件与原始设计可能一致也可能不一致。备选方案是采用数据库传输格式，这可以提供更好的数据传输方式。

规定：电气测试可能会被进行很多次（通常在产品运行时进行），在此，一块印制板从一组中抽出，然后进行 100%的测试（按照对实验样机的方式）。选择 100V 进行测试可以使潜在的断线彻底开路，检测出导线之间的缺陷（潜在的短路），发现其他类型的潜在短路可能性（如导电涂层或胶片）。检查制造商的电气测试能力。

示例注释：用 100V（或最小间隙隔离电压）和每英寸小于 5Ω 的测试电阻对所有的裸板进行电气测试。

2.6　小　　结

为了讨论 PCB 工艺和细节及其制造的过程，设计者必须熟悉行业内的专业术语。根据工艺的等级，制造也可以分好几级。这就是所谓的制造工艺。各个工艺的流程相似，但是性能不同。制造商必须了解设计者需要什么样的制造流程，每个流程所需的数据又是多少。从材料选择和控制规格开始，设计者必须规定这些环节的限制和数据：

1）设置
2）成像
3）蚀刻
4）多层层压（仅针对多层板）
5）钻孔
6）电镀

7）掩模处理

8）印制板完成

9）网印处理

10）刳刨处理

11）质量控制

12）电气测试

通过本章对制造流程每一步的详细介绍和示例注释的使用或复制，读者应该对每一步的要求有了详细了解。

第 3 章　面向装配的设计

最初，所有的 PCB（印制电路板）都是仅仅使用电烙铁手工装配的。随着科技的进步，元件变得越来越小也越来越难以手工装配，而且在单独一块电路板上能够安装的元件数目也在增加。因此，自动装配的需求就逐渐发展起来。

在手动装配模式和自动装配模式中，每一种装配过程和情况都将予以说明。焊接技术在 ANSI/J-STD-001 中有介绍。

本章介绍实际的装配过程。空间和布局的考虑将在第 5 章中介绍。本章之所以被放在设计章节之前，是为了在充分了解情况的基础上做出明智的设计决定，有必要理解制造和装配中的约束因素。

3.1　焊接通孔元件

正如在第 2 章中所定义的，通孔元件是这样的元件：它是用导线或金属性引脚引导的元件，通过将引脚穿过电路板上电镀过的通孔然后被焊接而安装在电路板上。

焊接点的质量很重要，原因如下：焊接点是元件和电路板实际的连接部位。焊接点的质量就等价于连接的质量。焊接点的“外观”并不太重要，但是它通常也能够反映焊接点的质量。

图 3.1 至图 3.4 展示了焊接一个通孔元件的一般步骤。在第一步中，准备好将要焊接的通孔和焊盘，将引脚放入/穿过通孔。引脚的放置应当保持弯曲处在被焊接的区域之上，以减少对热量和焊锡的需求。在第二步中，均匀地加热引脚和焊盘/通孔，加热材料使得焊锡附着于二者的表面。在第三步中，焊锡接触在电烙铁的末端，这使得焊锡变成液体流入通孔中。在第四步中，焊锡流过通孔，在底部和顶部各形成一个小丘。因为引脚是从顶部焊接的，所以应当检查底部以确保底部也有足够的焊锡以及接合的质量。有些装配可能需要在两面加入焊锡以确保焊接质量。通孔内足够的间隙能够使焊锡良好地流过电路板，并只需对一面施用焊锡即可。间隙不足将要求两面焊并增加焊接的时间。

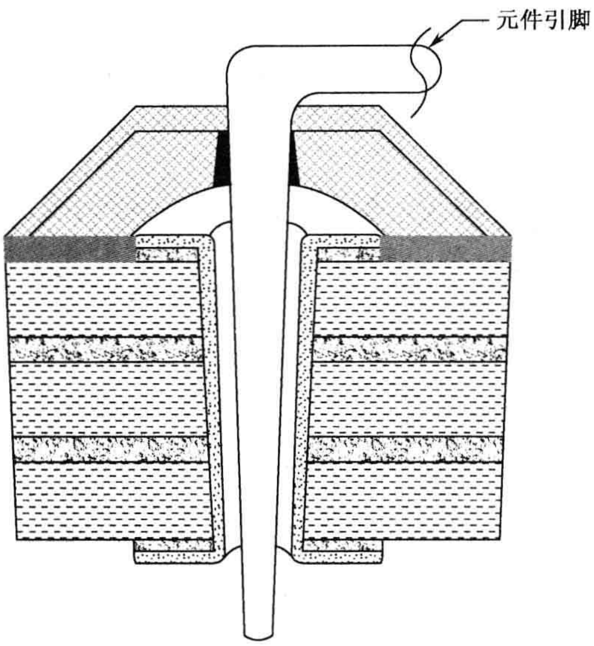


图 3.1 通孔和将要焊接的焊盘——第一步

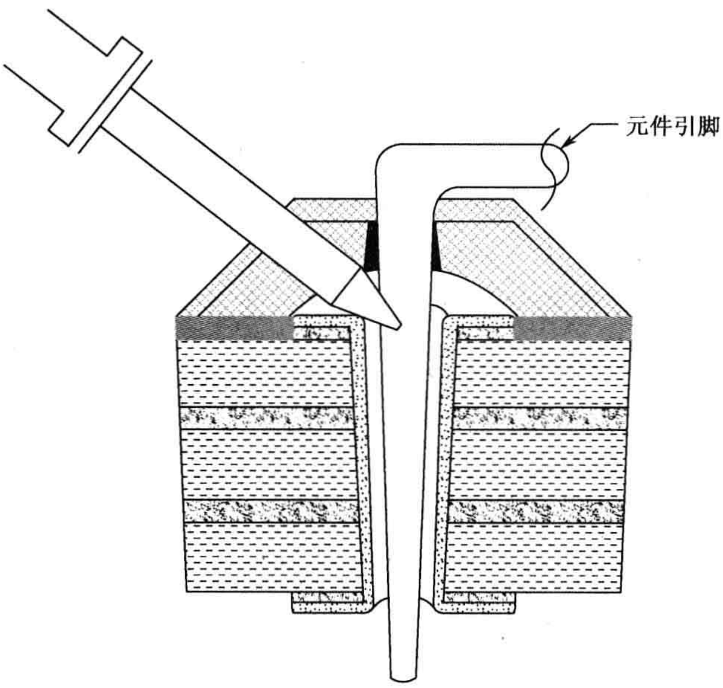


图 3.2 将热量均匀地施加于引脚和焊盘/通孔——第二步

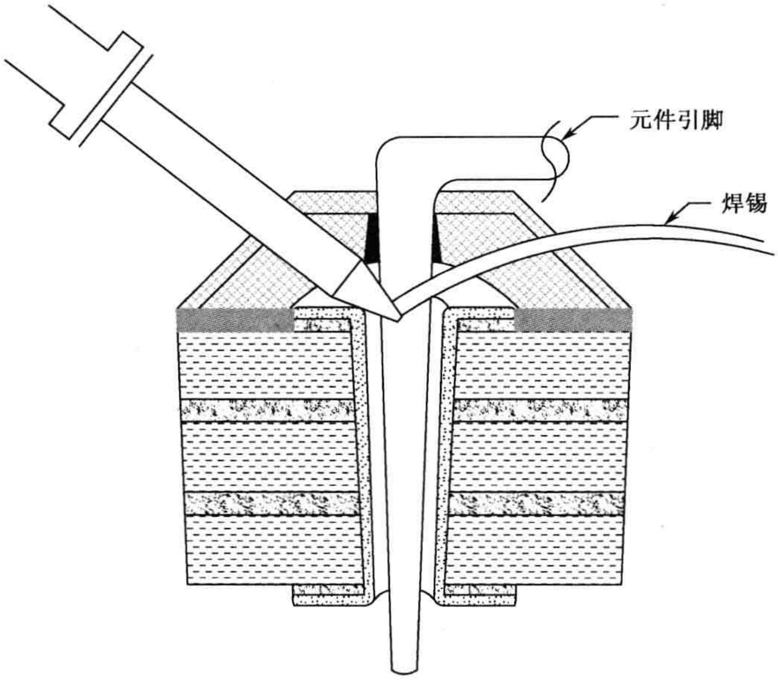


图 3.3　接触电烙铁的末端——第三步

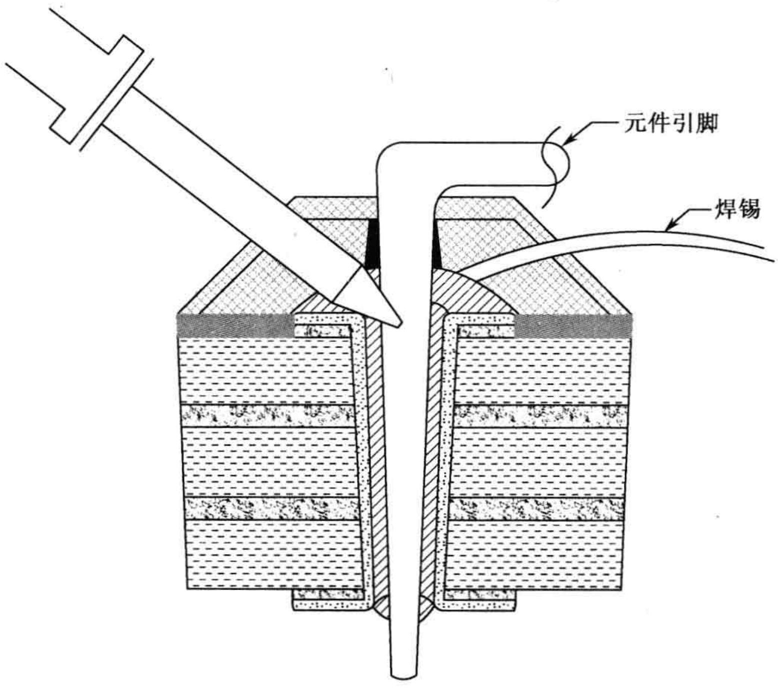


图 3.4　焊接引脚——第四步

3.2 合格的焊接点

诸如冷焊接点以及有针孔和有污染的焊接点之类的问题是可以避免的。焊接点的质量和期望在 IPC-J-001 中有介绍。

其他的质量问题就是设计问题。设计师的工作必须结合焊接技师的经验，购买元件的花费，以及置换元件的保养期望。通常，在一块造价昂贵电路板上，易碎、不耐用或质量不稳定的元件应当是可以替换的，这样就可以避免因为单纯的元件问题而废弃整块电路板。

图 3.5 展示了有足够焊盘直径的焊接点。将热均匀地施加于焊盘和引脚之间。图 3.6 展示了尺寸不足焊盘的焊接点。焊盘尺寸的不足造成了焊盘和引脚之间加热不均匀。引脚加热不够，焊锡就与焊盘而不是与引脚接合起来。反之，如果电路板焊盘的尺寸过大，过多的铜连接在焊盘上，或者在平面层上的焊盘和平面层本身之间没有热量的传递，焊盘将会因过热而离层，如图 3.7 所示。

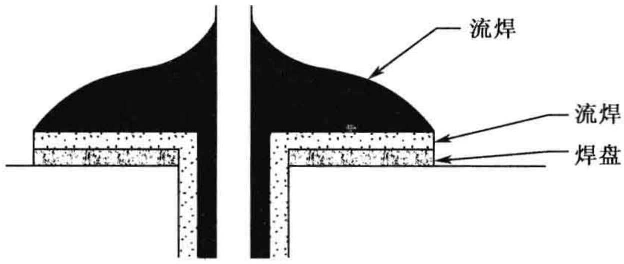


图 3.5　理想的焊接点

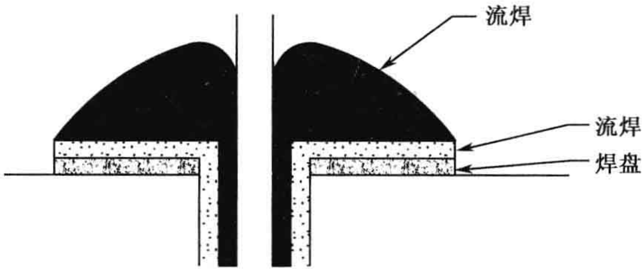


图 3.6　焊盘过小焊接点不足

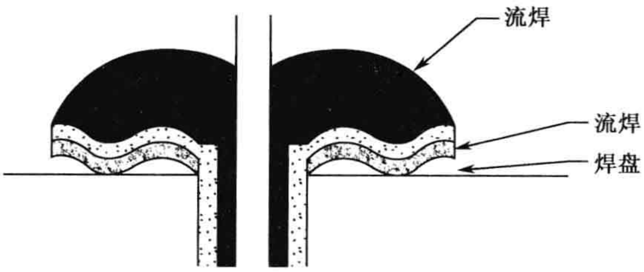


图 3.7　无热离层

充足的焊盘表面积

热量必须在引脚、焊盘表面积和通孔之间均匀地消散。充足的表面积对于焊接点的质量而言必不可少。焊盘表面积的不足将导致焊盘离层（焊盘脱离电路板），离层将会影响焊盘与孔壁电镀层之间的连通性。对于适用于通孔间隙的焊盘直径也有同样的要求。参照元件制造商提供的一览表查找一个建议的直径。如果没有推荐，就需要考虑以下的问题：

- 引脚的直径是多少？
- 实心引脚是什么？
- 元件自身是否是金属的？
- 是否有其他吸收额外热量的物质连接在引脚上？
- 元件是否需要保护，以免受热量的影响（如塑料封装）？

引脚直径是最要普遍考虑的。应该确定引脚是实心的还是中空的。因为实心引脚将吸收更多的热量，需要较长的时间加热，所以焊盘的表面积需要做出相应的调整。

元件本身也需要检查以确定其耗热/吸收的程度。如果元件引脚看起来将要延伸进入元件内部或者在尺寸上增大（如继电器），那么就需要施加额外的热量将焊锡黏附在引脚上，焊盘的表面积也需要做出相应的调整。

有些元件，例如塑料封装集成电路，热限值较低。有些较大的元件要求放置散热器在引脚上，位于焊盘和元件体之间。

注意： 在相应的软件中，以上所有的考虑都能够用于确定通孔的直径和对于焊盘的任何调整。

3.3　确定装配的环孔

元件的可替换性最终取决于焊盘的直径以及元件与焊盘的比率。热量如果没有充分消耗将会带来破坏性的结果。如果引脚直径或焊盘直径太小，或者热量过多，都将带来破坏性的结果。元件引脚是关键性的因素，所有其他的因素也就随之而定了。热量必须要充分但是不能过多，否则焊盘或元件将被损坏。同理，如果焊盘太小，元件和焊盘之间的热平衡将被破坏，将焊盘/铜箔固定在电路板上的黏合剂将会分解，焊盘将从电路板上松开，或者仅仅被损坏，使得电路板毫无价值。焊盘的大小应该刚好或更大一些。可以用一个矩阵确定焊盘的尺寸（或乘数因子）。

这是一个对元件逐个的评估和确定其可替换性的过程。当然，还有更多的因素要考虑，电路板的费用有时与占用的空间成正比。当然，如果焊盘尺寸太大，板的层数多，所需的费用就会变得昂贵。可以根据铜箔的厚度和个人的经验对这些值进行调整。

表 3.1 至表 3.3 展示了从设计（电路板空间的要求）和维护角度（替换可能性）考虑，推荐环孔的要求。表 3.1 展示了对于价格昂贵电路板，或者有昂贵或难以替换元件的电路板的推荐环孔的要求。费用决定了电路板所需的维护，与可替换性和可废弃度相反。

表 3.1 价格昂贵的电路板

替换可能性	板空间需求	焊盘尺寸	
高	低	理想的	2×孔直径
高	中	理想的	2×孔直径
高	高	令人满意的	1.75×孔直径
中	低	理想的	2×孔直径
中	中	理想的	2×孔直径
中	高	令人满意的	1.75×孔直径
低	低	理想的	2×孔直径
低	中	令人满意的	1.75×孔直径
低	高	最小的	1.5×孔直径

表 3.2 展示了对于中等造价的电路板的推荐环孔的要求。这需要在可焊性和空间之间做出折中，因此减小焊盘尺寸并允许在电路板上焊接更多元件。

表 3.2 价格适中的电路板

替换可能性	板空间需求	焊盘尺寸	
高	低	理想的	2×孔直径
高	中	理想的	2×孔直径
高	高	令人满意的	1.75×孔直径
中	低	理想的	2×孔直径
中	中	令人满意的	1.75×孔直径
中	高	最小的	1.5×孔直径
低	低	令人满意的	1.75×孔直径
低	中	令人满意的	1.75×孔直径
低	高	最小的	1.5×孔直径

表 3.3 展示了对于造价便宜电路板的推荐环孔的要求，减少提供足够的焊盘空间供焊接的可焊性但不能返工（仅仅一次焊接）。这样就给电路板上提供了最大的空间，但是却使电路板成为使用完后就被抛弃的板子。

表 3.3 价格便宜的电路板

替换可能性	板空间需求	焊盘尺寸	
高	低	理想的	2×孔直径
高	中	令人满意的	1.75×孔直径
高	高	最小的	1.5×孔直径

（续表）

替换可能性	板空间需求	焊 盘 尺 寸	
中	低	令人满意的	1.75×孔直径
中	中	令人满意的	1.75×孔直径
中	高	最小的	1.5×孔直径
低	低	令人满意的	1.75×孔直径
低	中	最小的	1.5×孔直径
低	高	最小的	1.5×孔直径

环孔的要求可以从整个电路板或从电路板上单个元件的角度来确定。选择整个电路板还是单个元件取决于电路板上元件的数量以及电路板的整体费用。

3.4　元 件 间 隔

许多元件间隔的安排需要考虑到焊接的间距、热量的消散和/或噪声辐射。每个应用都会有额外的考虑，由于可能性太多而无法一一列出。明智的做法是对于所有的元件都适用一个标准的间距，需要时再增加间距。因为大多数元件都是从电路板底部焊接的，元件之间焊接的间隔就不是一个重要的考虑因素。当元件分布在电路板的两面，间隔要求此时就成为一个考虑因素，因为焊接元件之间由于烙铁的原因需要留有间距，如图 3.8 所示。当元件的高度低于烙铁的顶部时，空间仍然是需要考虑的因素，但是当电路板两面都装有元件时，最好在引脚和它周围的元件之间保持足够的间距。

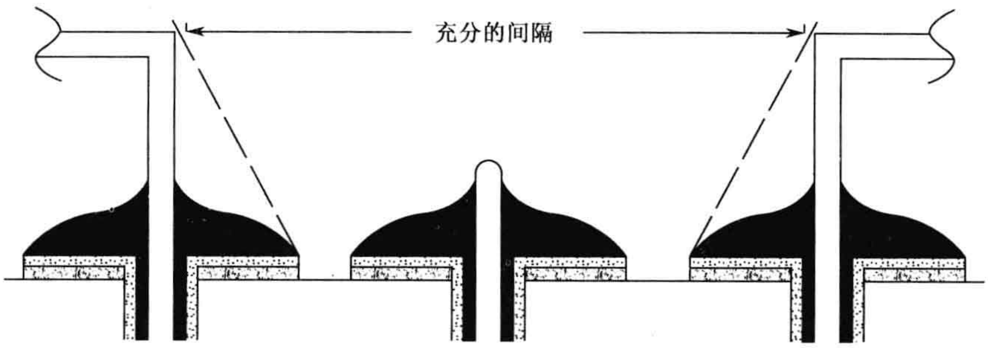


图 3.8　在元件间焊接一个引脚

3.5　元件的布局

元件布局时，除了满足物理和电气的要求外，还需要满足装配的约束和要求。这些约束或要求按照装配类别和每类的费用进行分类：例如，手动装配与自动装配，以及单面装配与两面装配。

3.6 手动装配与自动装配

手动装配并不一定就便宜，其决定因素如下：

- 数量
- 劳工费用
- 使用的元件
- 空间
- 时间

最大的决定因素是空间。如果空间太小而必须使用表面贴装元件，那么此时手动装配就更为困难了。当元件间距小到手动装配不可能进行时，自动装配就是更好的选择。当产品数量巨大而时间又有限时，自动装配就是必须的选择。表 3.4 的矩阵用来帮助确定采用手动装配还是自动装配。

表 3.4 手动装配与自动装配的决策矩阵

元 件 类 型	间距/密度	产 品 数 量	自 动 装 配	手 动 装 配
通孔元件	高	高	是	否
	高	中	是	否
	高	低	是	否
	中	高	是	否
	中	中	是	否
	中	低	否	是
	低	高	是	否
	低	中	否	是
	低	低	否	是
表面贴装元件	高	高	是	否
	高	中	是	否
	高	低	是	否
	中	高	是	否
	中	中	是	否
	中	低	是	否
	低	高	是	否
	低	中	是	否
	低	低	否	是

（续表）

元件类型	间距/密度	产品数量	自动装配	手动装配
混合元件	高	高	是	否
	高	中	是	否
	高	低	否	是
	中	高	是	否
	中	中	是	否
	中	低	否	是
	低	高	是	否
	低	中	否	是
	低	低	否	是

3.7　单面装配与两面装配

两面装配的费用并不一定比单面装配贵，但是在进行设计时要求考虑更多的因素（查看当地装配公司的报价）。装配支持的复杂度随着编制文档的数量而倍增。以下是当考虑到两面装配时出现的一些问题：

- 两面引脚的间距（通孔元件）
- 安装的间距
- 附加的信号保护
- 导通孔的位置。导通孔可以位于元件之下，但是应当被掩模
- 导通孔与另一面的元件碰撞

当表面贴装板设计为两面装配时，盲孔和埋孔起很大的作用，但也增加了开支。

占用面积

由于所要求元件数量的巨大，很少有设计师为手动装配和自动装配分别制图。推荐的方式是采用大一些的尺寸（手动）或小一些的尺寸。这将使自动装配更为困难，但是手动装配的要求无法降低，而自动装配能够通过调整而得以弥补。如果自动装配是唯一使用的装配方式，那么就建议保有一个严格的自动装配类型的占用面积数据元件库。

3.8　手 动 装 配

对于元件引脚的焊接，业内有许多相关的文档，本节也是如此，在此只介绍与电路板设计有关的方面。手动装配在一些方面有别于自动装配，最重要的是加热量和所要求表面积的量。

一些设计师坚持使用不同的连接盘图形：一个用于手动装配，另一个用于自动装配。另一些设计师则在两种装配方式下使用通用的图形。后者对于那些设计混合装配或设计使用通孔件和表面贴装件的设计师更为常见。如果数量很小或者用于样品测试，这些类型的设计可以用手动焊接。

3.8.1 通孔的置备

通孔的置备通常在给裸露的铜表面电镀/或涂装焊锡的制造过程中完成。这就为焊盘的表面以及通孔自身置备了一层很纯的焊锡，它通过帮助焊锡黏附于焊盘和孔壁之上并使焊锡以毛细作用的方式通过通孔而使得焊接更为容易。图 3.9 详细画出了孔壁元件和焊盘。

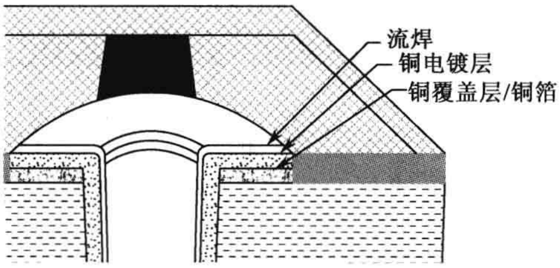


图 3.9 孔壁的细部

通孔的间隙

通孔的间隙对于合格的焊接点是必不可少的，它使得焊锡覆盖引脚在通孔中的部分并使焊锡从电路板的一面流向另一面（参见图 3.10）。当热量和焊锡同时施加时，焊锡将流过并覆盖引脚，穿过通孔到达电路板的底面，这就是通常所说的“吸锡”。许多焊接技师愿意焊接电路板的两面以确保均匀的数量和良好的质量。通孔的间隙由引脚的尺寸、公差以及引脚与引脚之间的公差决定。通孔应该足够大以确保良好的吸锡效应，但是也不能太大而使焊锡中出现气隙导致裂缝，当加热或电流流过时这些裂缝将破裂。通常大多数较小的引脚或元件引脚适用 0.010 英寸(0.254mm)的间隙。间隙无须与引脚的直径成正比，因为这将导致一些十分大的间隙和质量很差的焊接点。对于较小的元件，其间隙在 0.008 英寸(0.2032mm)至 0.012 英寸(0.3048mm)之间变动。较大的元件引脚或机械零件，例如螺栓和较大的连接器引脚，其间隙可达到0.020英寸(0.508mm)。间隙的确定更大程度上是应用上的决定。因此就存在着大的引脚与引脚间距与高间距公差之间的矛盾，如图 3.10 所示。对于元件引脚而言，没有间隙

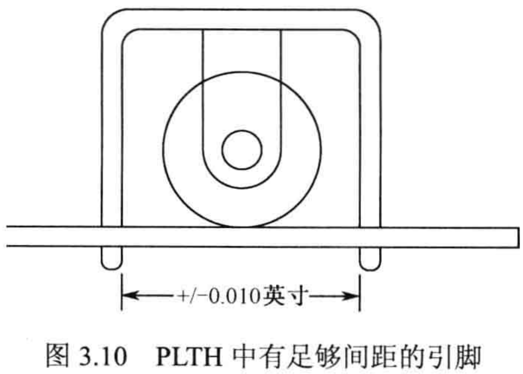


图 3.10 PLTH 中有足够间距的引脚

的统一公式表述。材料、元件形状外加元件体本身实际的热消散等复杂因素综合在一起就产生了大量变量。此时需要参照元件制造商的数据表单或求助于制造商的工程部门。一个好的元件制造商对于其元件会有一个建议的通孔尺寸。如果没有，设计师应当要求给定规格。

如果元件制造商没有那样的文档，此时就必须使用常识判断。以下是需要提出的一些问题：

- 引脚的直径是多少？
- 引脚的公差是多少？
- 引脚与引脚之间的公差是多少？

直径本身是间隙的基础。如果引脚的公差没有指定，就使用±10%的默认值或者由通常十进制数使用的惯例来决定。

X.X=15%

X.XX=10%

X.XXX=5%

公差＋数值叠加到引脚直径上以提供最坏情况下的数值。

引脚与引脚之间的公差对于间隙很重要但却不起决定作用。对于如图 3.11 所示的更大的引脚公差只需要增加 0.001～0.002 英寸(0.0254～0.0508mm)。焊接技师需要移动引脚的一侧或对其施加压力以使引脚处于中心位置，以便焊锡流过引脚所有的侧边，如图 3.12 所示。

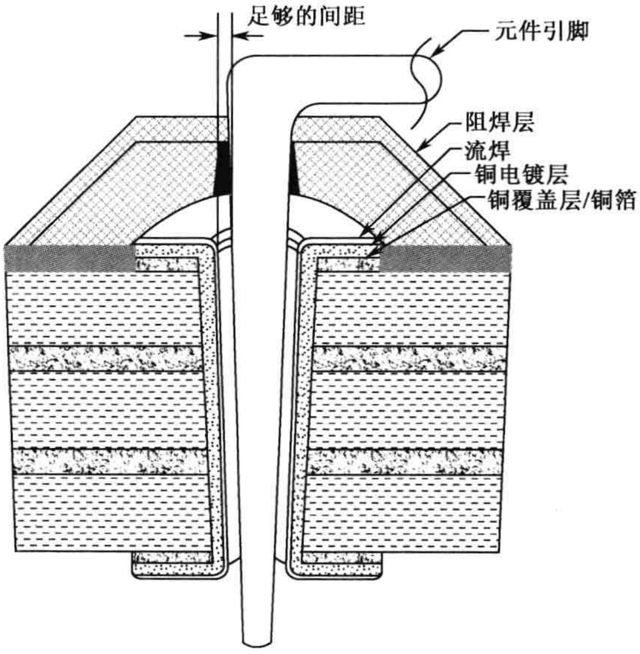


图 3.11　有大引脚间距的元件

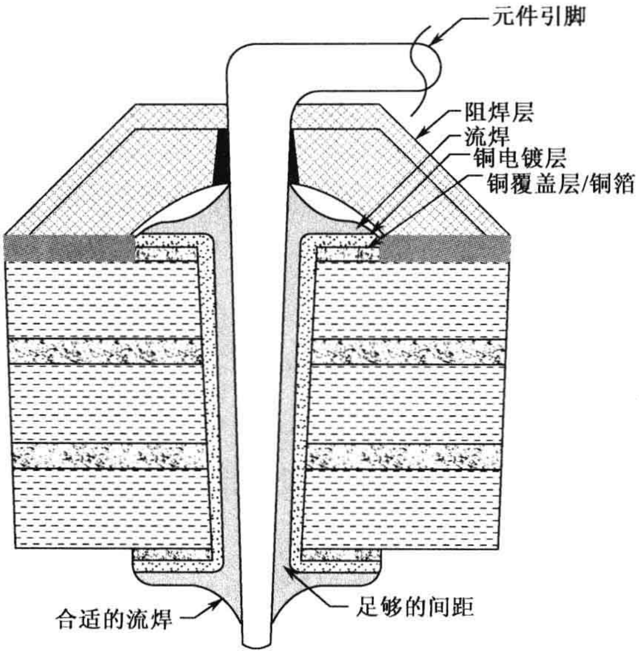


图 3.12　被焊接元件的引脚

3.8.2　焊接表面贴装元件

焊接表面贴装元件较为困难并且需要专门的工具。因为许多表面贴装元件对热敏感，焊接这些元件在保证合格焊接点时应尽量使用最少的热量。在此过程中有足够焊锡制备在表面贴装焊盘上就变得很重要，尤其是引线不需要完全覆盖焊锡，而焊锡要足够牢固地附着于引脚的底部和侧面或焊锡区域。

表面贴装元件使用的焊接类型是“融焊”。这就要求焊接技师加热焊锡直到使其变成液体，然后将元件/引脚沉入焊锡中。

专门的焊接烙铁顶端用于带引脚的表面贴装器件。这些烙铁顶尖与预装器件的长度相当，允许同时焊接器件一边的所有引脚。

带有引脚的封装器件，例如集成电路，尤为重要，因为焊锡有从一个引脚“桥接”到另一个引脚的趋势。在此阻焊层就起着关键性的作用。引脚之间的阻焊层起着屏障的作用，防止焊锡桥接贯通引脚。

在如此小的焊盘之间维持阻焊的能力与制造商的技术相关。其规范为“脚距”，即从一个焊盘的中心到相邻焊盘中心之间的距离。实际的测量是从一个焊盘的边缘到相邻焊盘边缘，剩下的区域就被阻焊了。

3.9 自动装配

自动装配是这样的一个自动化过程：大多数的元件都通过机器被放置并焊接到电路板上。除了手动焊接所需的标准装配信息之外，自动装配还需要从设计者那里得到额外的信息。

3.9.1 何时进行自动装配

表面贴装电路板并不总需要自动装配。自动装配取决于原型（样品）设计、产量、复杂性以及时间。

原型设计通常指少量但也许是高度复杂的装配。决策也许会分为是否会或许不会工作的电路板上投资，或者是投资在会工作的电路板上，但是该电路板将只有一个短的生产周期，因为生产准备工作已经完成。

通常在工作刚刚开始的时候，生产准备费用就被考虑了，而且这是一笔 NRE（非重现工程）费用。如果生产准备费用是花费在原型上，那么通常在生产时就不需要支付这笔费用了。它有时受到时间的限制，要求在一周到 30 天之内完成生产采购。

即使电路板的复杂度不高而时间又不是重要的考虑因素，产量在决定对自动装配的需求时就起决定性的作用。手动装配一开始也许更为经济，但是当手动装配的成本超出自动装配的成本时，就需要做出决策了。

当复杂性是一个“无可争议”的考虑因素时，自动装配就是必需的。有不同级别的复杂性，例如表面贴装技术SMT，高密度SMT，或者是有球栅阵列（BGA）集成电路或插座的设计。在考虑长期的前景时，手动装配所能提供的技术水平必须与自动装配的总体费用进行比较和权衡。

在几乎所有的情况下都要考虑时间因素。如果为任务配备了手动装配而没有足够的时间准备自动装配，那么就进行手动装配。如果产量很大，使用自动装配节省的时间也许比多支出的费用更重要。

由于缺乏沟通、信息和标准化，自动装配在很大程度上受到了抑制。由于不同装配公司之间缺乏统一的标准，设计师们感到没有把握、困惑或灰心丧气。以下的部分提供了自动装配所需的信息及其原因。

3.9.2 要求的基本要素

以下是自动装配所需的要素：

- 在 274-X（嵌入孔）中的 Gerbers 格式，包括装配图
- 有参考指示符的部分中心文本文件，外部布置层，以及 ASCII 格式的 X&Y 位置和旋度

- 数控（NC）钻孔文件
- 全面安装的焊膏文件（一种 Gerber 文件）
- 胶点文件
- 如果可能，通过指定数据库格式（程序名）来设计数据库
- 部件列表或 BOM（材料清单）
- 所需的部件或硬件

Gerber 文件用于规定焊盘的位置并帮助装配公司确定 1 号引脚的位置以及电路板外观形状。数据库也能够用于确定 1 号引脚的位置。一些电路板公司选择自己置备焊膏文件/模板。设计师根据自己的经验和倾向创建焊膏文件。了解装配公司是如何确定其模板以及这样做的原因，并将其复制下来以确保在不同装配公司（装配电路板的公司的通称）进行装配时的一致性是有益处的。焊膏文件被用于阻焊整个电路板中除去将要焊接部分的区域。将焊膏涂抹于裸露的焊盘上然后除去模板。使用焊膏将元件安装和固定在电路板上，胶点紧固焊接在电路板上的元件。

进行元件布置时，需要部件布置/中心文件以了解该部件的中心在何处。层标识显示的是安装部件的哪一面，旋度显示的是元件的朝向。

原始元件旋度的一致性对于报告是至关重要的。除非设计软件能够处理不一致的情况，否则所有的元件都应当方位相同。

数控钻孔文件被用于确定安装孔的位置并为接插件提供通孔的尺寸。它也能让装配公司为元件引脚安排足够的间隙。

材料清单或部件列表被用于附注中心文件以及需要安装元件的标识符。如果元件是表面贴装器件或是通孔型器件，材料清单也应当提供有关信息。

3.9.3 其他的考虑

自动装配时其他的考虑因素有电路板尺寸、在制板尺寸和分离线（breakaway）。电路板通常装在包含有许多电路板的在制板上。在制板是刳刨电路板的原材料。在制板送到装配公司时所有的电路板都不应该有损伤。

注意： 分离线是环绕电路板四周的连接体，在装配期间它固定电路板但是在需要取下电路板时它能够容易地被断开。

3.9.4 装配的限制

有几个装配过程和装配线。一个装配公司在复杂度或技术上存在着限度，PCB 厂商也是如此。装配公司受以下因素的制约：

- 在一次装配过程中能够装配的部件的个数

- 两面装配
- 整个在制板/电路板的尺寸
- 元件的尺寸
- 元件的类型（表面贴装件或通孔件）

在开始准备装配之前，应当完成对几个可能的装配公司的调研并剔除不合需要或实力不足的公司，同时记载下留下来的公司的支撑信息。

装配公司也许无法为设计者或用户提供足够的关于限度的信息，因此应当向装配公司询问这些问题。其中最重要的是装配公司要求的经过“焊接流”的次数（焊接流是电路板要求经过焊接流的过程）。这个次数是至关重要的，因为每一次过程都会施加大量热量到电路板上。电路板的 Tg（热梯度或热损伤；更多信息见第 2 章）变得至关重要。额外的焊接流要求更高的 Tg 材料。正确的规则是手动装配使用普通的 FR4，自动装配使用更高温度的 FR4。如果电路板上焊接的元件密集或是密集的两面焊，应当使用更高温的材料以消除任何的顾虑。

在自动装配时需要考虑元件之间的间距或元件的“面积”。根据装配公司的不同，元件之间的间距有相应的限制（参见图 3.13）。应当对装配公司进行调查以确定它们的限值是多少，并且在设计中需要对这些特性进行规定以确保不会有元件被放置得太近。

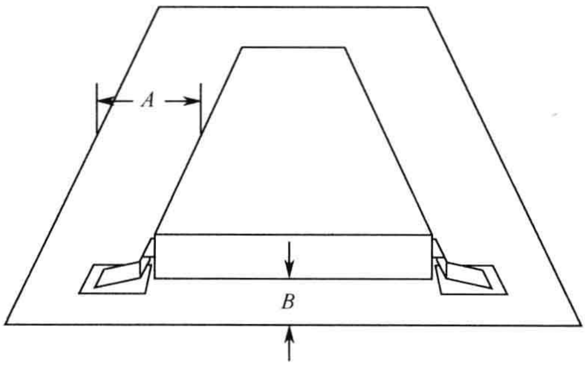


图 3.13　IC/元件间距尺寸

3.9.5　订购电路板

如果考虑进行自动装配，在订购电路板之前可以要求自动装配的报价以确定材料的要求。电路板材料的要求取决于驻留时间和焊接流次数。这些是首要的决定，它必须适应每一个设计师所采用的装配公司。当驻留时间和焊接流次数确定了，它们应当记载在装配说明中，或者所选用的材料应当能够适应最恶劣的情况。

一旦一套规则确定下来，就有必要在制造之前得到装配费用的报价。这样做有助于在制造开始之前发现问题和防止未加工电路板返工。

3.10 小　　结

本章解释了装配过程，尤其是手动装配。本章还解释了表面贴装和通孔焊盘所需面积的原因，特别解释了焊接质量。被焊接的焊盘应当满足制造的要求，但是焊接通常需要甚至更多的面积。所需的焊盘面积不是严格的，但是确实有最低的要求。以下是决定焊盘尺寸和引脚间距的几个因素：

- 元件成本
- 要求的面积
- 电路板的总体成本
- 生产的电路板的数量
- 总成本
- 总时间

在电路板设计开始之前，所有的这些因素必须要处理好，这样设计师才可以选择/确定焊盘的类型并确定在允许的区域里是否有足够的间距。在最初的设计开始后和新的问题出现后，需要做出这些决策。

第 4 章　原理图和节点表

这一章主要讨论原理图的设计以及原理图、节点表和属性等所蕴涵的知识。原理图包含以下一些内容：点对点清单、规划表或者文本文件，例如 P1-引脚 1 到 P2-引脚 3。属性是一种描述，或者可以称为特质。它可以是一个值、一种描述或者一个标题。在原理图和印制板中，属性是指元器件、设计、节点或者设计中任何项目的一个参数。此外，本章中还将阐述元器件的符号和标准以及元器件的制造。

4.1　原理图绘制

当印制板变得越来越复杂后，原理图仿真工具被更为广泛地使用，电路设计者/工程师更倾向于自己绘制原理图。原理图绘制程序越来越规范和易于使用，使得电路设计者的原理图绘制工作更加轻松，摆脱笨拙的原理图画法，采用原理图获取程序，也消除了以前原理图重复绘制的情况。以前，一些印制板设计者要试图了解电路设计者的设计意图，并且当发现电路设计者出现设计错误处，就不希望去重复它们(比如集成电路片的门/扇区)。

原理图要考虑印制板的可维修性和可更换性。如果未考虑，则应考虑。维修技师依靠原理图和有标志的电路板来确定装有印制板产品的设备问题。下面的章节将有助于了解原理图和印制板的主要问题。

首先，需要了解原理图的一些要素。

4.2　了　解　电

简单地说，电路由一个正极线和一个地线或者负极线组成。电好比是一台真空吸尘器。正极比负极具有更少的电子。当出现了正极和负极，就会产生“真空”效应，电子从负极到正极的移动就形成了电。电压取决于正极和负极之间的电位差以及电阻。移动电子的数量就是电流。电压和压力有关(或者比做真空吸力)，空气流量就相当于电流。

像在真空中那样，当压力真空增加了，流量/电流就相应地增加了。

如果管道收缩或者缩小了，空气移动就会被限制，于是流量/电流减小。这反映了流量/电流和电阻的关系。基本上了解了电之后，以下的内容将更容易理解。

4.3 软件术语

原理图软件中用到的一些词和行业用途之外的含义有些差别。一些词是行话而且它们的意思依赖于讨论的不同工艺。下面的词汇是用于原理图绘制内容中的词汇，但它们不仅仅专用在 PCB 设计软件中。

- 占用面积（footprint）——在 PCB 中代表焊盘、轮廓和元件的装配孔。
- 符号——在原理图中代表一个元件，显示重要的输入或者输出功能。
- 块符号——代表整个组件块。
- 门标识——代表一个元件的特定部分。
- 异质门——代表不同类型的门。
- 同质门——代表相同类型的门。
- 引脚——代表一个元件的物理引脚或者引出线。
- 引线（wire）——电气连接元器件的线，接到 PCB 板。引线通常具有所连接的元器件的属性和定义。
- 线（line）——用来代表外部板器件或任何没有电气连接的器件的线。
- 页/张连接器（参见图 4.1）——张连接器或页连接器本质上是同样的对象，但通常对其进行的处理不同。它们可以表示某页或某张的内容参见另一张或另一页，内容通常是一个节点或一条总线。

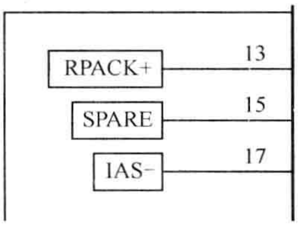


图 4.1 页面连接器

- 总线（参见图 4.2）——由一条（粗）线代表一束节点，从而可以减少画线的数目。

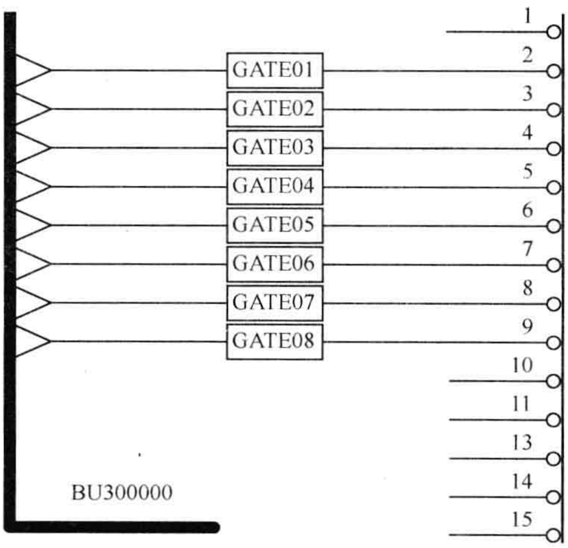


图 4.2 总线连接器

- 属性——属性是广泛使用的一个词，但实质上是指设计中关于某一元器件的任意信息。整体的设计也可以有属性，比如尺寸和页数。一个节点有属性，比如电流和电压。一个连接有属性，比如要求的间隙、高、尺寸和符号类型。
- IEEE 符号——与 IEEE 指定的标准相一致的符号。
- De Morgan 符号——每个引脚上的字母、符号和首字母缩写以表示引脚功能和类型的块符号。
- 分组块——用线和破折号对一张印制板上的连接和部件进行分组。可能跨页。起始通常用一条粗线表示，并且至块终端的每一个中断都用延长线表示。
- 延长线(～)——用来隔断一个分组块，也用来表示下一个相关连续块始端的连续点。
- 节点——一组相连的点。这些连接有相等的电压但通常电流不相等。如图 4.3 所示。P5 的 35 脚和 P4 的 B17 脚和 13 脚连接到＋5V。这是一个单一 5V 节点。在这个节点表中，电流从 P4 的 13 脚流到 P5 的 35 脚，且电流大小为 2A。电流从 P4 的 13 脚到 P4 的 B17 脚且大小只有 0.025A。

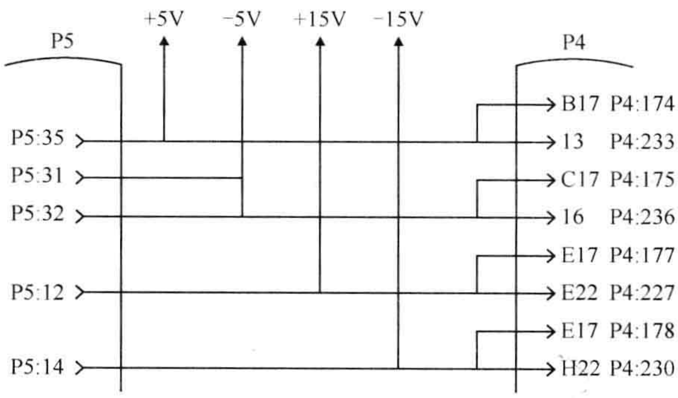


图 4.3　节点连接

- 类——一组具有相同属性节点的集合。节点按其共有的属性分组。通常按照电压、电流或者层来对节点进行分组。如图 4.4 所示，+12V 和+15V 在电压上差别不大，因此间距也不用太大。+5V 和+24V 电压差别很大，因此应归属各自的类。定义类的属性时应按最坏的情况来考虑。在这个例子中，“电源 1”包括+12V 和+15V 节点，且属性是电流为 1，电压为 15。这样定义了最坏情况下的值。这个值将被用于 PCB 设计程序中且被转换成宽度(走线)和间隙（安全间距)。因为此时印制板属性是未知的，而这个属性又是确定印制板走线和间隙所必需的，所以 PCB 的物理属性不应在这个原理图部分中定义。分组取决于印制板上的空间数目。如果不用考虑间隙，所有这些节点可以被分到一组，且属性是电流为 2，电压为 24。这样分组让所有的走线和间距都相同。

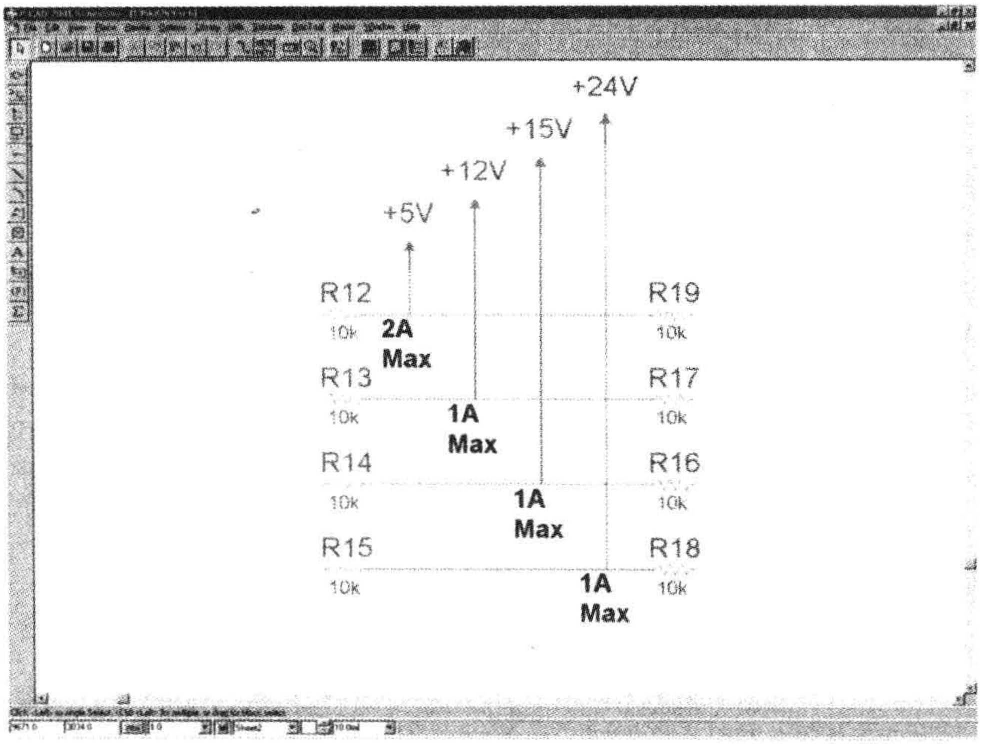


图 4.4 按属性分组的节点

- 类对类——确定组之间差异的一个方法。就像上层阶级（英文也是 class）和中产阶级可以用拥有的资产的差异来区分，节点类可以按电压或电势的差异来定义。电势的定义要参照于某任意一点或地电位点。在下面的例子中，所有点的参照点都是一样的，且这些点可以被分为三类：
  - 电源 1——包括+12V 和+15V 节点
  - 电源 2——包括+5V 节点
  - 电源 3——包括+24V 节点

所有两电源的组合也必须规定，以便确保足够的间隙。

- 电源 1 到电源 2——电势是 10V（最坏情况）
- 电源 1 到电源 3——电势是 9V（最坏情况）
- 电源 2 到电源 3——电势是 19V（最坏情况）

不同于类电压/间隙属性中电势是针对同样的电压而言，类对类涉及不同的电压，因此有必要规定类对类的属性。

一个+30V 和一个−30V 的类在其类的内部分别都只有 30V 的电势，而类对类却有 60V 的电势。间距将会是在±30V 类中所规定的两倍。由于电流与类对类无关，因此不同的电流不需要规定。

- 空间/区域——板上的一个区域，在一层或多层上，具有特定的属性，例如间隙、电压、噪声或元器件限制。

4.4　其他属性定义

印制板或层的属性等项目也被相似地予以定义，但是这个定义是针对整体印制板或某一特定的层进行的。如果一个印制板的走线宽度属性是 0.012 英寸(0.0348mm)且一层的走线宽度属性被设置成 0.006 英寸(0.1524mm)，那么层的属性将先被采用。这是由定义的级别所决定的。从最重要到最次要的级别列出定义如下：

- 连接引脚——一个连接器的实际的金属连接点。
- 凹连接器——有凹槽的连接器或一个相配对的连接器可以插入的连接器。
- 凸连接器——向外突起的连接器且可以插进配对的连接器。
- 插座——凹形，配对的插针可以插进。
- 插针——突起，可以插进配对的插座。
- 电源引脚——仅用于输入电源至 IC 的任何引脚。

4.5　了解元器件

印制板上放置有许多机械物件，为使用方便，其被作为元器件存放，但我们所说的原理图中的元器件仅仅是指有电气连接或在设计中要放置的物件。在大多数情况下，很多元器件都有一个正的或负的连接。除了一个正的或负的连接，一个元件通常还有其他被定义做输入或输出的连接线。输入影响一个元器件或产生一个结果，而输出通常是输入的结果，如图 4.5 中简单的门所示。

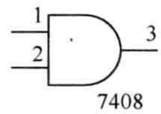


图 4.5　一个简单的门

正和负的连接没有在图 4.5 中示出。这种情况很常见，正/负连接只在原理图中体现，而为了节约空间通常在这种符号中省略。原理图中经常会隐藏引脚，但引脚必须在原理图中某处有具体显示，或是以表格的形式，或是以文字的形式(在图 4.5 中，引脚 1 和引脚 2 是输入，引脚 3 是输出)。

4.5.1　符号类型

有多种形式符号可以使用，常用的两种是块型和门型。图 4.6 是一个块型，是完整元器件的标识。

另一种类型也即“门型”(如图 4.5 所示)仅代表元器件的一部分，在某些情况下，为了更流畅地布线，门引脚可以被交换。

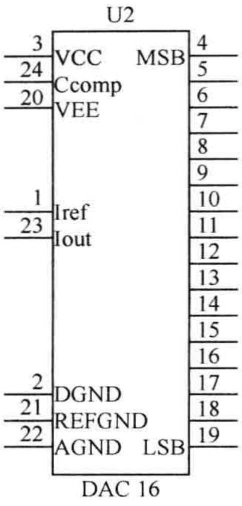


图 4.6 块型

4.5.2 元器件显示

显示元器件的方式也有几种。元器件的复杂部分将在第6章中讨论，本章则讨论总体的标准。

原理图软件中的元器件通常遵循现今的很多标准，如 IEEE 和 De Morgan 标准。IEEE 更常用但内容不够详细，而 De Morgan 标准列出了引脚功能以及触发方式。

为保持一致性，原理图应该仅使用一种标准，但也可能出现这种情况，即一些元器件需使用 IEEE 标准，而某个重要元器件需偶尔使用 De Morgan 标准。我们需查看各个标准并且确定它们各自的优缺点。两种主要的元器件表示方式是块形式和门形式。

逻辑芯片和继电器通常被分为门或者各部分独立符号。一些设计师将块型元器件分解为不同的部分，有时按照输入和输出来分，有时按照模拟和数字来分，或者按照功能来分组。这些分组方式都是可行的，分组方式只需满足原理图或是设计工程师的要求，而不必在所有的设计中都保持一致。尤其在元件有大量引脚的情况下，这更是普通，将元件作为一个整体显示出来可能会太复杂也很容易混淆。元件可能大到只能显示元器件本身和页面连接器。这种做法是许多服务技师所不期望的，但确是实际存在的和必需的。一些元器件可能很大或者有很多的引脚，以至于虽然它包括几个门但需要被分隔成几部分且显示于不同的页上。

为了方便调试，元器件的引脚号和名称也是需要考虑的。如果技术人员需要进行至元器件级的故障定位，那么原理图中就必须要有引脚名称了。引脚号总是必要的，不仅仅是为了调试，也是为了布线的需要。

4.5.3 节点名

节点名似乎是一个简单的定义，并且通常是自动编号和自动命名的。是否需要命名节点很大程度上依赖于空间可用性并且有无调试的需要。节点名通常用于方便地显示某个节点或表明其功能。举个例子，在多层板装配中，一个节点可能需要经过许多的板子而到达终点，此时，一个简单的名称，比如电压、类型逻辑层、输出引脚或功能都是必须的，如下所示：

- 电压（+5V，+15V，V+，+Logic，GND，Digital GND，Analog GND，Chassis GND）
- 类型（时钟，使能，禁止，选通）
- 逻辑值（DO1 高电平）
- 输出引脚（DO1，DO2，Out1，Y1，Z1）
- 功能（类似于类型）

4.6　原理图标准

通常，设计者需要输入原理图或确定印制板设计中必要的值（大多数原理图获取程序中所用到的特性）。

PCB 的设计不全由原理图开始，但通常情况下是这样的。传统上，PCB 是一个电子工程师和一个 PCB 设计师对原理图进行工作的综合。随着技术进步和印制板变得更加复杂，一个人可以完成全部的工作。设计者应该能理解原理图、确定条件并理解工程师的需要。设计师的这种灵活性在当前是很好的卖点。

图张大小、画图标准（参见表 4.1）和输出格式必须满足公司的要求，要求如下所示：

- 出版——指南或技术手册的格式对纸张尺寸有要求。有些较小带插页或者是信纸大小带分类账尺寸的插页。
- 政府——某些政府机构或政府合同部门要求所有的图形文件必须是 D 尺寸的图形。
- 公司标准——许多公司通常使用 B 尺寸的图形，这种尺寸设置所需的图张连接比 A 尺寸（信纸）少，但比 D 尺寸图形更易于管理。推荐使用 B 尺寸，同时 A 至 D 尺寸纸均可使用。

表 4.1　原理图风格标准

	是	否
使用图张尺寸 A		×
使用图张尺寸 B	×	
使用图张尺寸 C		×
使用图张尺寸 D	×	
使用 IPC 绘图标准	×	
使用 IEEE 标准	×	
使用 ANSI 绘图标准	×	
图张使用列格式	×	
图张使用普通的端对端格式	×	
图张使用连续页面格式	×	
显示图张区域	×	
显示连续图张区域		×
图张连接显示张数和区域	×	
图张连接仅显示区域		×
图张连接仅显示节点名称		×

（续表）

	是	否
需连接块	×	
需单独连接器		×
连接表示块/组线		
块状表示元器件	×	
用 De Morgan 标准表示元器件		
用 IEEE 标准表示元器件		
用门形式表示元器件	×	
滤波电容和元器件一起表示在块中		
元器件显示其类型		
元器件引脚名称表示		
电源引脚显示		
电源引脚隐藏（用 PP 表）	×	
显示所有节点名称	×	
可选择显示节点名称		
不显示节点名称		

IEEE 定义了原理图和电子符号中的大多数标准。许多符号和参考设计按照传统，但通常遵循个人或公司标准。表 4.2 示出了一些通常用于代表元器件的字母。

表 4.2　元器件字母标准

字　母	元 器 件	字　母	元 器 件
K	继电器	Z	击穿二极管
R	电阻	W	导线
J 或 P	连接器	X	变压器
D	二极管	Q	晶体管
C	电容	F	保险丝
L 或 H	电感或线圈	R	电位器
L	灯		
T 或 TP	测试点		
仅符号	地（普通）		
仅符号	地（底盘地）		
仅符号	地（数字地）		
仅符号	地		

在重要的要求中，一致性和标准是居于首位的。当值被确定下来，设计中的各环节将会变得更加简单。诸如网格尺寸这样的标准控制着整个绘图，同时也使编辑和走线更

加容易。所有的符号都应该在这些网格上设计，以便进行简易的修改和引脚布置。某些元器件，例如门，在某一侧有一个单独的引脚，这就使得比较难将它布置在正中位置。网格需要变得更密以满足这样的要求。表 4.3 示出用 0.200 英寸（5.08mm）的网格来画原理图的标准，对于更小的元器件或不合网格的引脚，使用更密的 0.100 英寸（2.54mm）网格。

表 4.3　原理图控制和主要绘图格式的文本标准

绘 图 尺 寸	A&B	C&D
元器件引脚	0.200 英寸（5.08mm）/	0.400 英寸（10.16mm）/
	0.100 英寸（2.54mm）/	0.200 英寸（5.08mm）/
	0.025 英寸（0.635mm）	0.100 英寸（2.54mm）
文本高		
参考指示者	0.100 英寸（2.54mm）	0.200 英寸（5.08mm）
连接器参考指示者	0.150 英寸（3.81mm）	0.250 英寸（6.35mm）
元器件值	0.075 英寸（1.905mm）	0.150 英寸（3.81mm）
注解	0.100 英寸（2.54mm）	0.200 英寸（5.08mm）

注：这些值依赖于程序的文本设置且需要调整以适用于其他的格式。

注意：网格值应该固定。如果使用米制，应使用不同标准和度量制（例如 5，10，25，50，75，100mil）。

表 4.3 中的值允许文本类型大小的一致或不同。连接器的尺寸要大一些，因为在原理图中经常需要查找它们。C&D 尺寸绘图的文本尺寸允许必要时用 B 尺寸纸打印 D 尺寸的绘图。若没有这种要求，则应始终使用同样尺寸纸以支持仅一种文本尺寸。某些用户可能要求所有的原理图用 D 尺寸纸，只有这时才推荐使用这种尺寸。

一些程序允许对文本风格进行习惯命名。这是标准化中非常方便的工具。用户可以用通常使用的文本“类型”来对这些风格进行命名，例如：

- RefDesg——参考指示符
- RefDesgCon——参考指示符连接器
- PN——印制板上标示零件号的文本
- Pin number——引脚号
- Title——标题文本
- Zone——代表一个图形区域的文本

如果设计的所有环节都基于这样的网格标准，那么所有的元素将更加易于编辑和移动。因为若元器件、连接器和走线之间间距保持一致，设计也会显得更加专业。

4.7 原理图设计清单

在最初的规划和设计中，提出电路设计要求是第一步。在这一步中，设计者或工程师会讨论和确定以什么方式来设计原理图，确定印制板的尺寸以及印制板尺寸是否能容纳整个电路或需要将印制板进行分割。决策可以根据大致概念上的连线图和什么是必需的想法，以事件和应用来驱动。关于形式重于功能或功能重于形式的长期的争议是可以解决的。两者都不对，但可以由应用来确定正确与否。印制板尺寸和间距要求可能预先确定，并且原理图可以分别布置于不止一块印制板上，或者，面积和板尺寸可能不十分重要，尺寸由原理图尺寸和需要来决定。

4.8 原理图风格

原理图风格在很大程度上由可维修性来决定。如果正在设计的印制板是要可维修的或需要寻找和排除故障的，那么原理图将需要进行不同的处理。一个明智的着手的方法是确定所有的印制板都是需要维修的然后从这一点开始。为何关注维修？当一种方法用于寻找印制板上的一个部分时，需要有印制板的逻辑流。元件应该易于发现、分组并且和板上的布置方式一样。这样做并不总是简单和必要的，但却是一个好的习惯。下面列出一些不同的原理图风格：

- 逻辑流由电路类型确定，且在跟电路类似的页面之间流动。这种风格可能和其他一些风格混合使用。
- 较小些的印制板或简单印制板会和打算的印制板布置相类似。由于连接器设置要求，一些印制板会有预定的布置。
- 连接器布置同印制板布置风格相类似，但约束更少，且布置方法更通用，仅仅依据连接器的位置。连接器的布置可以再包含一条逻辑流。
- 以功能为依据的方法可能包含一种或两种前面所述的风格，或仅仅依据功能重于形式这条（如果空间要求每页有不止一种功能类型，但应试图将每页按照一种功能类型或电源类型来分割，参见 4.9 节）。这种风格对于多功能电路和（或）包含控制电路（使用数字控制或低电压信号来控制继电器以实现电源控制）的超大印制板是最常见的，且对于文件是最好的，同时要和功能目录一起使用。

4.9 图张和设置

原理图布置要考虑原理图展现的媒介。如果原理图在小的维修手册中使用，则需要使用特殊步骤来布置。通常的文档会规定使用 A 或 B 尺寸（折页风格）。一些顾客和设计者要

求所有的文档使用 D 尺寸图。这是确定制作原理图的方式的第一步。

命名图张是原理图布置的最后一步，但是必须要仔细考虑，并且要有目标以避免不必要的电路改动。一些常用的图张名称/标识如下所示：

- 供电电源
- 输入功率
- 滤波
- 逻辑
- 电源
- 电源开关
- 接触部分
- 线圈部分
- 测量
- 传感器

这个风格（以功能命名图张）提供了快速和简单的参考以知道某张是关于什么且能在该张找到什么内容。

张边界是第二个需要考虑的问题。如果参照电子的文档标准，那么将要使用区域和标题块。推荐使用 IPC 或一些其他的组织标准。很多布置设计软件包可能定义了边界和标题块以方便使用。当使用这些软件包时，考虑修改区域、页面改动、标题区域和注解。应用设想的最坏情况来考虑长期的设计实现及模板。

模板还提供了一致性和结构。原理图可以以一个列格式（由图张尺寸和个人喜好来决定）或端对端格式来实现。列格式提供了最好的一致性，但也是受限制最多的格式。列线可以和文本以及连接器的开始-续-结束点等一同显示。

4.10　连接器和页面连接器

连接器的机械要求和它们的放置要求使之成为许多设计者的焦点所在。这点提出了利用设计哲学中的第一个原理图问题：这些连接器应该怎样显示在一张图上（参见图 4.7）或位置靠近它们的连接点（参见图 4.8）处？将连接器放置在靠近它所连接的元件的位置上可以缩小原理图的尺寸，但这样会引起一些问题，例如连接器的所有部分分别位于哪里，并且每一部分/门需要单独的标注。但连接器位置很关键且缩小原理图尺寸很重要，需要使用一个“总线”来连接连接器和其他图张或元器件。一个“总线”是用一条单线（但是较粗）以简略代表一束线。

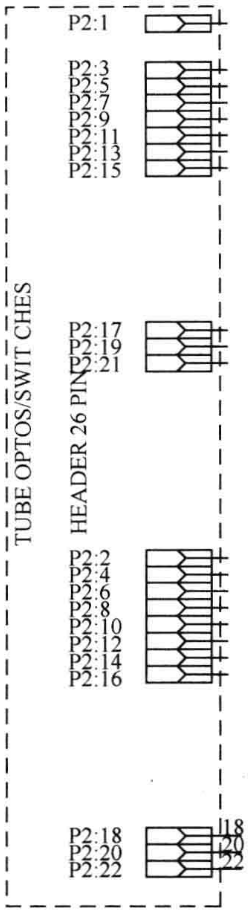


图 4.7　在一处的全部连接器

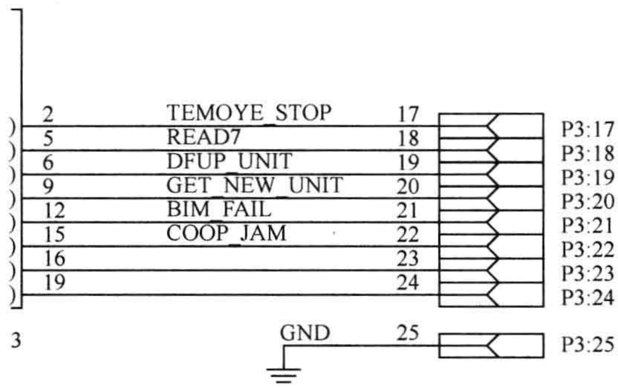


图 4.8　分开放置的连接器

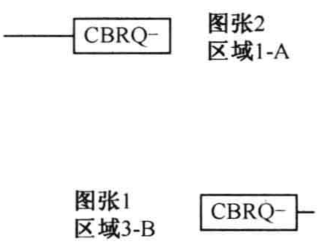


图 4.9　相应的页面连接器

有时一个连接器的连接数量很大以至于将其所有的引脚进行分组是不可取的。当可以对引脚进行分组时，通常会用到一个页面连接器(参见图 4.9)或者查找数来连接两个或更多的连接器，不论它们是在一张的不同区域上或是在不同的图张上。如果在你的原理图中使用了区域，那么它们应该和页面连接器一起使用来定位相应的连接。一些原理图在原理图每一张上使用连续的区域数字(数字在图张顶部)来取代图张数，并且仅仅使用区域数字。

如果使用连续的区域格式，仅需显示区域名称，例如 3B、5A。区域方向由原理图格式来决定。如果原理图是以水平面画出，那么垂直的区域在原理图中将含义相同。如果原理图是以列格式(竖直的)画出，那么水平区域将在原理图中表示相同。

若可能，一个连接器应该显示其全部，如图 4.10 所示，从而节约了时间及减少了布置连接器剩余部分的考虑。如果连接器以一个连续连接器的形式示出，但是引脚数量超过纸高度，需要在第一部分连接器的终端和下一部分连接器的开始端用特殊的符号表示(如图 4.11 所示)。

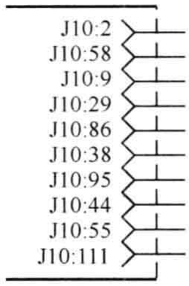


图 4.10　常规的连接器块

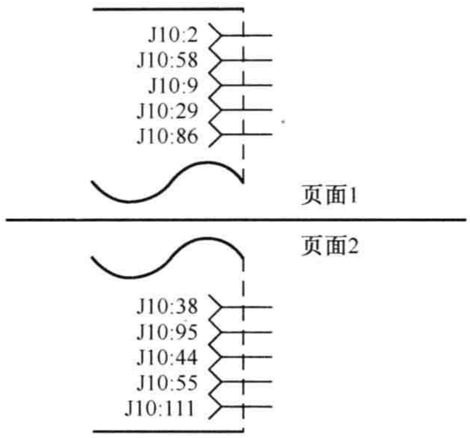


图 4.11　一个连接器的连续

设计清单警告：为了更好地理解连接器和页面连接器，下面的讨论将设计者清单的部分以快速综述的格式包含在相应的部分中，紧接着是更多细节的解释。当未用清单时，只进行单独的讨论。

一条分隔线表示连接器并未示出其全部。为了易于参照，需使用文本来表示连接器的其他部分。下面是保持一致性所必须参照的标准。

- 搜集元件清单、要求的元器件位置和机械位置和要求等信息。
- 决定是否所有的元器件都已在现有的库中。如果没有，使用元器件供应清单。
- 选择设计模板。

这包括要求的图张尺寸、边界形式和模板。

- 用元件号来保存文件。

用元件号来保存原理图可以提供关于 PCB 的快速查找，并且与印制板制造商交流。

- 输入设计信息。

依赖于你的程序的建立方式以及(或)原理图文件中的信息是否需要手工改变/输入文本。

- 打开/登录必要的库。

检查元件清单并在上面标注所使用的库名，建立库来包含所使用的必须的元件。如果某些元件没有，应用元件供应清单来供应。根据安装面积的机械要求，例如安装孔和可选择的安装位置等，在加上原理图符号之前确定元件安装面积是个好习惯。一些引脚符号可能会重复使用，此时某一引脚提供不同的安装面积选择或不同的安装位置选择。

- 将元器件和导线放置在一起。

如前面所说，元器件位置和导线需要依据网格而放置，并且它们应符合某种标准方向。页面连接器应从起始页到继续页以适当的方向放置以显示其连接。即使是水平的或垂直的位置，也应可以将图张重叠以清楚显示其连接。

- 标注所有的电流、电压、高频、噪声和敏感电路。

对于强电流电路，标注分支电路。

当主电路是强电流电路时，确定分支电路及其电流要求很重要。如果主电路要求一个0.050 英寸（1.27mm）的导线宽度而分支仅需要一个 0.008 英寸（0.2032mm）的宽度，则没有必要用 0.050 英寸（1.27mm）的导线布置所有的支路。

- 对于印制板设计中最常使用的宽度和间距增加如下的一个注解："除非特别说明，所有的电路电流小于 0.25A，电压小于 30V"［适用于 6/6，0.006 英寸（0.1524mm）线宽和 0.006 英寸（0.1524mm）间距］。

这条注解应使用最常用的宽度以减少电压电流的注解。仅使用常用技术的逻辑或数字电路设计者需要 6/6 型注解。模拟电路设计者一般需要针对 12/12 宽度/间距的注解。

- 设置电源引脚表。

电源引脚表仅在电源连接符号未示出时使用。因为间距需要正电压和地符号，大多数软件包允许有隐藏或不可见电源引脚，允许同预先设置的值的连接。这些引脚没有显示，所以需将参考指示符和引脚号的表格以相应的节点名称或值的列格式显示。这将占用一点空间，但提供了电源连接的快速查找。

- 设置"最近使用"表和"未使用引脚"表。

可以设置一个"最近使用"表以方便使用，并且随后删除。这样提供了对所有最近使用的参考指示符和跳过的原理图的统计，提供了对元器件的计数。"未使用引脚/门"表提供了已被设置的一个部分/门中所有未使用的符号清单。对于多符号元件这点很有用，且可以帮助识别或找出被遗漏的引脚。

- 突出电源节点并检查每一图张以确定连接性。

突出电源引脚确保所有图张/电源引脚连接器的连接正确。错误连接或错误标示电源连接通常会导致某些元器件未连接。对此问题的一个简单的检查以及对任何节点都使用页面连接器，可以节约数以百计的返工的印制板，节约时间和劳动力。

- 核对设计规则，例如单节点网络、无节点网络、未连接引脚或未连接导线。

设计规则核对，即大家熟知的 DRC，可以在任何时候实施以检查原理图和元器件的一些设置。和其他输出相连接的元器件的输出可在设计早期选定。许多人则喜欢在原理图设计最后实施一个 DRC 来进行最后的电检查。

- 产生一个材料清单并且与零件清单相比较。

此条是可选的，但推荐使用这一步骤来确保使用的是正确的元器件。

- 增加必要的注解。

注解可以作为对数据值、瓦特数、裕度或功能等的归纳性的陈述。例如，“除非特殊说明，所有的电阻是 1/4W，2%。”这样减少了必须标注在原理图上的值的数量，缩小了原理图尺寸并且实现可重复使用的值和电路。

- 加上图号。
- 打印和目视检查原理图。
- 对准/更改位置、格式和风格。
- 将所有节点进行归类。

用最小电流和电压属性来定义所有的类。

- 产生节点表。
- 生成库。
- 检查其他方面。
  - 所有的 IC 输入端是否按要求接上？
  - IC/元件是否有必要的滤波电容？
  - 主电路和分支电路是否可清楚区分？

注意：这些功能中的许多依赖于设计软件。应根据个人使用情况来调整步骤和规则。要尽可能详细地定义那些经常使用的功能或设置。

4.11　小　　结

显示原理图有几种不同的风格和格式，风格和显示的选择取决于应用。遵循标准和传统是必要的，有许多条款可以供使用。沿袭和重复一个已被证明的方法可以减少错误并且保证设计的一致性，也能为 PCB 设计者提供一致性和清晰度。

第 5 章　设计印制电路板

前面的章节中所介绍的内容为本章的学习打下了基础，本章主要介绍了印制电路板的设计，详述了材料、厚度、制造商能力并将其与设计要求(包括可用面积和安装类型)结合起来，还介绍了如何利用本书附属的设计者清单，它为印制板的设计提供了完备的资源。本章用于指导设计过程，包括基本的设计原理、布线方式和堆叠类型，同时支持嵌入式设计者清单。

注意：设计者清单是设计过程的细则，该设计过程可用于每项设计和每项根据特殊用途而定制的设计中。该清单提供了经过证实的结构内容，是从很多设计中总结出来的，清单在配套的网站中以 Word 文件格式和 PDF 文件格式提供，也在本书前言中做了介绍。

5.1　初始的设计决定

在本章中，部分的设计过程有重复，这是因为需要根据一些约束条件对设计要求和所要用的工艺做出初始的估计。这是为了给印制电路板的设计提供估计，也为设计提供指导方针。在设计过程中，如果需要的话，可以超出那些初始规范的界限。

有些公司和设计师在设计印制板时不考虑成本，不是因为印制板太复杂就是因为无法确定初始的预算。平时就进行预算的公司必定十分了解对时间成本和开支成本的预算。

5.2　从使用专用工具软件开始

任何普通的 CAD/CAM 软件都无法进行印制电路板的设计。制造商要求使用一种特殊的文件格式或 Gerber 文件。

使用特殊的软件去设计印制电路板，而这些印制板又帮助控制、设计和检查设计以使之满足电气和设计的要求。在选择特定品牌/版本的软件之前，必须要进行调研以找到最划算的软件。调研的内容包括查看公司的说明书、条款和额定值，测试该软件的用户友好性、扩展能力，以及最为重要的用户论坛。用户论坛为检查软件中存在的问题、用户满意度、售后服务质量和交互提供了一个途径。

注意：扩展能力或程序附件，例如信号完整性和功能仿真，是其他可能与标准原理图和印制电路板同时使用的产品。

5.3　实用程序和附件

有许多程序有一些必需的工具程序，而这些工具程序并不包括在布局软件中。许多这些工具和程序包含在设计师资源中（DR 资源 V1.xls）。这类程序和工具可减少手动计算并在计算中提供一致性。有些可用的实用工具程序可计算印制线路的可控阻抗、与铜箔厚度和温度有关的印制线路电阻等。这些程序可在因特网上查找到，可以节省用手工计算这些值时所花的宝贵时间。

5.4　标准和材料的归档

记录与制造印制板有关的材料或从制造商那里接收材料列表是一件困难的事情。在决定选择使用何种材料之前，必须要知道可以得到的材料。

设计师应当使用类似于表 5.1 的表格去记录通常可以得到或有“库存的”材料。有几种不同类型的材料，对于每一种使用类型都应当建立一个表格。需要记录的信息有材料的类型/名称、Er 和 Tg。

表 5.1　制造商材料一览表

盎　司	芯　材	盎　司	公　差	制造商 1	制造商 2	制造商 3	制造商 4	制造商 5	制造商 6
0.5	0.006	0.5	0.001	×	×	×			
1	0.006	1	0.001	×	×	×			
2	0.006	2	0.001	×					
0.5	0.031	0.5	0.002	×	×	×			
0.5	0.031	0	0.002	×	×				
1	0.031	1	0.002	×	×				
2	0.031	2	0.002	×	×				
3	0.031	3	0.002	×					
4	0.031	4	0.002	×					

FR-4 Tg=××× Er=×××

注意：配套网站中的设计师资源软件提供了一个材料列表，它记录了包括铜箔厚度和公差的芯材，还列出了哪些制造商提供这些材料。

5.5　收集和定义预备信息

本节介绍用于确定印制板设计所有方面的预备信息。这些信息在设计过程中被再次使用以确定其他的值、材料和操作过程。

设计师仅通过看简单的电路是不能够真正确定印制板密度或所需空间的。设计师必须搜集所有的约束条件、要求和需要，并确定材料、印制线路和空间以及层数的初步结构。

5.5.1 利用设计一览表来设计 PCB

说明设计过程的一个实用的方法是使用一览表，然后在每一个过程开始时定义这个过程的每一部分。下面一节以快速综合的形式将部分的设计师一览表结合到对应的节中去，继之以逐步的解释。当不用一览表时，就需要进行单独的讨论。

5.5.2 约束条件

约束条件包含以下几种：

- 目标工艺
- 厚度
- 高度
- 宽度

5.5.3 工艺驱动的约束条件

工艺驱动的约束条件包含以下几种：

- 层数
- 最小的印制线路
- 最少的空间
- 最小的导通孔
- 最小的尺寸比率（层/钻孔）
- 最小的印制板厚度

5.6 定义约束条件和要求

定义约束条件是设计印制板关键的第一步。在任何设计中，需要考虑的范例设计约束条件包括目标工艺、厚度、高度以及宽度。工艺驱动的约束范例包括层计数、最小的线路、最少的空间、最小的导通孔、最小的尺寸比率（层/钻孔）和最小的印制板厚度。初始的约束条件要求是根据经验对应当用于设计的工艺水平的评估。

5.6.1 定义约束条件

- 定义印制板的尺寸。
- 对应顶部和底部印制板的间隙。

- 标注切口槽和不可用区域的尺寸。
- 定义印制板的厚度。
- 定义边界间隙区域。
- 定义所有的槽和切口。
- 定义诸如键控信息之类的组装要求。
- 标记事先定义好的元件位置，包括硬件、连接件、灯/LED 以及开关。
- 将多边形放置在不要求阻焊区域的阻焊层上。
- 将间距(所有的层或某一层)保留在要求印制线路、导通孔、焊盘间隙和硬件间隙的区域上(硬件与导通孔间的公差、硬件活动区或孔公差)。
- 定义要求：IPC，Mil-spec 等。

注意：有关导通孔和焊盘的定义参见 5.8.8 节中的“非焊接导通孔”和“焊接导通孔”两小节。

5.6.2　类型和可靠性的确定

选择工作类型和可靠性的确定为整个过程决定和添加额外的约束条件。这是设计印制板的第一步。如果决定使用 Mil-spec、NASA、UL 或一个欧洲标准，在继续开展工作之前要进一步调查这些标准的文档和要求。本书属于更为通用的工业实践类型设计，考虑到复杂性及相互矛盾的信息，将不会扩展到其他类型的标准。

如果决定采用通用工业实践类型印制板，那么材料类型只需要考虑设计/组装的要求。

在你的文档中使用任何规范之前，应当理解规范规定了什么，并保存一个备份以备讨论。不使用任何规范而引用“最商业化的实践”的情况下也是可以设计印制板的，但是其结局却是无法知晓或不符合要求的。

5.6.3　印制板尺寸和表面贴装的使用

印制板尺寸和表面贴装的使用被分类在一起是因为它们在板空间当中的关系。减小印制板的尺寸是 PCB 设计的重点之一，而且也是许多印制板设计关注的焦点。确定一般的空间需求是对可以得到空间的一个预先的评估。

根据设备外壳的要求进行设计和(或)根据 PCB 需要的空间进行设计是相互交织的。通常是个人设计原则决定着哪些要求优先。有些人认为设备外壳应当根据 PCB 要求的尺寸进行设计，允许设计师创作“理想的”印制板。其他的人认为印制板必须符合事先规定好的设备外壳或者是根据指定的安装硬件的区域而设计。用哪种决定是计算可用空间的焦点。更为常见的情况是在元件要求的空间和设备外壳和安装区域需要的尺寸/空间之间进行折中。此时 PCB 设计师和机械设计师之间的交流就尤为重要。

如果在印制板上使用通孔元件时空间不足，那么设计师有以下的选择：

- 将元件摆放在两面
- 改用表面贴装元件
- 在两面都使用表面贴装元件
- 增加印制板面积

在决定可用面积和合适的位置时，很少有文档说明、计算方法或程序能够超越经验。选项如下：

- 通孔元件对 SMT（表面贴装工艺）元件
- SS（单面）板对 DS（两面）板
- DS 对 ML（多层）

在元件尺寸、印制板尺寸和设备外壳尺寸之间所做的折中恰恰是推动技术进步到创建表面贴装工艺和多层板的动力。

5.6.4 关于 RF/EMF 的考虑

RF（射频）和 EMF（电磁场）是两种主要的外部干扰。此时仅仅是注意到 RF 和 EMF，因为目前还无法采取什么措施。

在外行的术语中，RF 是在信号线或线路中导致/注入干扰的极高的频率。EMF 是由频率和产生磁场类型干扰的线圈结合起来产生的电磁场。这些考虑通常来源于外部，但有时也许来自于安装在印制板上的元件。在此只标注外部的 RF/EMF 考虑。

5.6.5 环境的考虑

在决定元件、涂层、材料、印制板可靠性类型以及印制板是否适合生产时，需要考虑到热量、振动、湿度、辐射和其他因素。

环境中的热量影响印制板的情况微乎其微，但是元件更容易受到环境条件的影响。

与改变组装过程不同，振动的决定性影响是长时间的逐渐作用。

湿度导致腐蚀和可能的短路（在适当的情况下）。通过涂层，例如阻焊层和敷形涂覆，可以使印制板免受环境因素的影响。

5.6.6 确定要求的印制板面积

实际的印制板面积是一个考虑，就像考虑元器件的空间一样。这就在设计中创造了一个三维形象。

印制板不需要恰好与可用空间一样大。当生产印制板时是有公差或正负值的，这也需要

考虑进去。如果没有印制板的尺寸要求，就应当根据印制板尺寸、安装在印制板上零部件所要求的表面积和容纳平衡印制板层数的印制线路数的设计面积来决定印制板的实际尺寸。

5.6.7　确定要求的印制板厚度

要么是根据设备外壳/安装硬件来确定印制板的厚度，要么是根据要求的印制板厚度来确定安装硬件。最好的情况是两者的折中。

在元件的厚度或元件选择之间进行折中。主要选择元件的变化开始于要求的印制板厚度。引线较长的元件不存在什么大问题，但是元件引线无法延伸(至少)到导通孔直径宽度并穿过印制板却是一个应考虑的问题。当然，如果无法得到引线足够长的元件，就必须减小印制板的厚度，或者必须使用另外的元件。如果附录或安装设备没有要求印制板的厚度，那么就从标准厚度(0.031 英寸，0.062 英寸，0.125 英寸等)中选择一种，并且同时根据所有使用的元件中能够得到的最短引线的长度来决定印制板的厚度。

注意：被标注的印制板厚度是美国标准；其他国家的厚度标准也许不同。

- 决定生产的组装类型，例如手动、自动以及手动原型(Prototype)到自动。
- 决定维修类型：
  - 无须维修/寻找并排除故障(使用后即扔掉)
  - 少量维修(印制板上便宜的元件，或容易更换应用，少量可维修位置)
  - 高度可维修的(印制板上昂贵的元件或难以更换应用，高度可维修位置)
  - 决定工艺限值和目标工艺

5.7　决定所使用材料的类型

有几种可用的不同材料类型，以及其他只在四五个基本材料类型上变化的材料。决定材料的类型需要考虑几个问题。热、阻抗和柔韧性是决定使用何种材料的基本因素。对于每一种作业和(或)用途都要考虑这些问题：

- 是否有大量的元件(尤其是通孔件)需要安装到印制板上？元件焊接在印制板上是分类时的一个主要因素。
- 对于印制板是否有任何的柔韧性要求？柔韧性要求限制了能够使用材料的数量，因为大多数材料是“刚性的”。
- 印制板将要自动组装吗？或者在它的寿命期限内有机会自动组装吗？原型通常是不会自动组装的。因此如果有自动组装的可能性，那么热就是一个重要的因素。

参见第 3 章关于基于组装要求选择材料的信息。

5.8 设计印制板

确定好初始要求和约束条件之后，必须要做出几个选择。在可用材料、当前需求、印制板厚度以及对于层数和线路、空间的预估之间进行折中。

- 打开新文件或负荷适宜的模板。
- 校验焊盘、导通孔、文本类型的标准。
- 在中心使用 0.040 英寸线画出印制板边界。
- 在中心使用 0.040 英寸线画出所有印制板上的槽/切口。
- 输入设计信息。
- 载入库/存档库。
- 载入网格列表。
- 产生材料清单（BOM）并与部件列表进行比较（这是为了包括不在原理图中的机械元件）。
- 需要时将部件放置在事先确定好的位置上。
- 确定类/网格以及印制线路宽度、间隙（空间）和导通孔间隙。

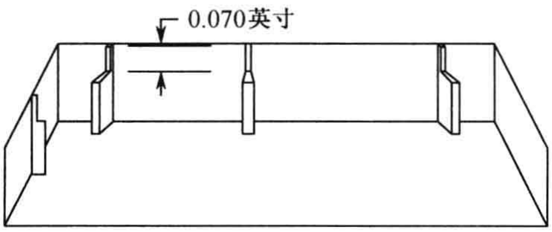
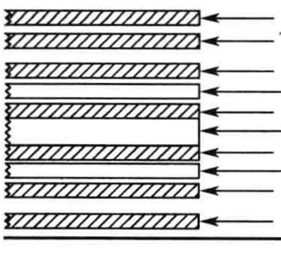


图 5.1　板厚度比其最大值小 10%

5.8.1 选择材料的厚度和铜箔的质量

决定两面板使用何种材料是相当简单的。标准材料有两个基本的配置：多层芯材和两面芯材。多层芯材的测量通过测量与铜箔厚度分离的内层芯材实现。两面芯材需要全面的测量，包括铜箔的厚度。图 5.1 显示了一个印制板的堆叠，它比图 5.2 所示的附录中能够得到的空间小 10%。

TABLE 2: MATERIAL STACKUP



LAYER	MATERIAL	THICK	TYPE
TS			
TM	MASK	0.0025″	
L1	COPPER	0.0021″	TRACE
	DIELECTRIC	0.0100″	
L2	COPPER	0.0007″	PLANE
	DIELECTRIC	0.0140″	
L3	COPPER	0.0007″	PLANE
	DIELECTRIC	0.0100″	
L4	COPPER	0.0021″	TRACE
BM	MASK	0.0025″	
	TOTAL	0.062″	(+/-0.010″)

图 5.2　板厚度的各层尺寸

注意： 术语“堆叠”（stack-up）是指材料放置顺序的表现。“层叠”（lay-up）是指制造商生产的材料的实际放置。

5.8.2　决定铜箔的厚度

通过初始铜箔厚度和设计的约束条件（厚度），可以选择铜箔厚度，或者通过电路电流/电压要求和一些控制空间要求确定厚度的要求。图 5.3 显示的是间距约束条件，是样品板的控制因素/限制情况的一种。

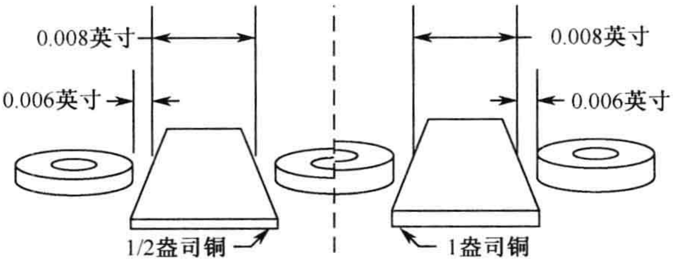


图 5.3　焊盘之间的间距

当了解关于印制板的一些通用的路线安排或知识之后，就能够确定一些线路的要求。如果可能的话，就从使用 1/2 盎司铜箔开始。

一个示范电路仅能承受 5V 电压但是却可以承载 3A 的电流。5V 仅仅要求 0.001 英寸（0.0254mm）的空间，但是工艺约束条件要求至少 0.006 英寸（0.1524mm）（两面）。图 5.3 的间距要求仅仅是 0.020 英寸（0.508mm）。减去 0.012 英寸（0.3084mm）[每一面 0.006 英寸（0.1524mm）] 只剩下 0.008 英寸（0.2032mm）给线路。如表 5.2 所示，一个在 1/2 盎司上的 0.008 英寸（0.2032mm）线路仅能承载稍大于 0.2A 的电流，因此铜箔的厚度必须增加到 1 盎司（如果维修要求允许的话）。

表 5.2　单位盎司铜和导线关系图

导线（英寸）	1.5 盎司铜外部安培数	0.5 盎司铜内部安培数	1 盎司铜内部安培数
0.001	0.23	0.05	0.08
0.002	0.37	0.08	0.14
0.004	0.62	0.14	0.23
0.005	0.73	0.16	0.27
0.006	0.83	0.19	0.31
0.008	1.02	0.23	0.38
0.010	1.20	0.27	0.45

另一个选项就是减少焊盘的尺寸。在本例中，焊盘的公差要求最小。元件引脚及其焊

盘之间的间距是铜箔厚度和工艺的通用决定因素之一。

注意：设计师可以使用附属的软件计算焊盘尺寸、使用的焊盘间距、线路宽度和间距，显示焊盘间允许线路的数量。

5.8.3 确定印制线路/宽度

无论示意图是否完成，电路网格中的电压或电流必须要确定好。电流与特定温度下一平方英寸的铜箔厚度有关。线路的平方英寸通过线路的宽度和所蚀刻铜箔的厚度来定义。第三个决定因素就是高于室内温度的温度升高。首先选择一个期望的温度，期望由此得到全面的值。如果它没有导致层数或者印制板需要的平方英寸的增加，应当选择 0℃。在能够得到的铜箔厚度和能够得到的线路宽度之间做出折中，这是基于对应温度要求得到的两者的结合。

对于所有的工作，初始的线路选择应当要比需要的数量大得多，而且应该大于工艺要求的最小数值。将给出一个对应高级工艺的范例，它是 0.006 英寸；当然 0.008 英寸的线路更好，这样在需要时就允许缩减。当前的评估不需要使用最小的线路宽度，除非空间很紧张。

因为热量的增加，电流和平方英寸不是线性关系的。这就意味着计算时没有简单的乘法因子。

5.8.4 标准化线路宽度

标准化线路宽度也许看起来很奇怪，但是最终线路的灵巧和一致性将证明这样做是很有价值的。当要考虑间距时，因为设计师熟悉线路的宽度、间隙和多线路宽度，将根据情况得知安排几条线路所需要的空间。虽然外部和内部线路以及间隙可能不同，除非空间十分紧张，可以使用最恶劣的情况。正如前面所提到的，因为需要较高的绝缘，内部需要较少的空间，但是因为内部线路是封闭在内的，所以需要更大的线路宽度来散热；因此需要做出折中。对于最恶劣类型的布线由：

- 使用内部线路宽度
- 使用外部间隙

（这一惯例相当普遍，但在一些质量较差的软件中是无法得到“通过层表确定”属性的）。

网格布线也十分重要。许多设计师继续倾向于更具美感的印制板，这种印制板就要求网格布线。对于英寸网格，倍数 6 也是十分普通的。例如：0.025 英寸网格使用 0.012 英寸线路，剩下 0.013 英寸间隙，或者是有效的 1∶1 的比例（12/12）。

对于 1/2 盎司铜箔，如果使用 0.001 英寸的网格，0.006 英寸就是通常最小的印制线路（查阅表 5.4，可以查到每种工艺允许的最小铜箔厚度）。

5.8.5 选择电介质材料

最初选择铜箔的厚度，接着基于可获得性来选择电介质材料。以下是决定芯材厚度的值：

- 整体的厚度
- 预浸材料的厚度
- 能够得到的材料
- 铜箔厚度

同时计算铜箔厚度、预浸材料和每层的芯材厚度以决定哪些材料可以用，如图 5.4 所示。

注意：在附属的软件中，库存材料可记录下来以决定材料的使用。

图 5.5 提供了一个范例性的材料表，它可以用做追踪每一材料类型能够得到的厚度、配置和公差。

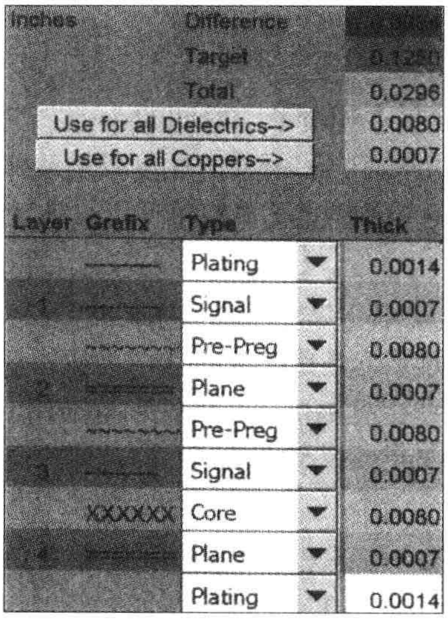


图 5.4 计算芯材厚度、铜箔厚度、电解质厚度和总厚度

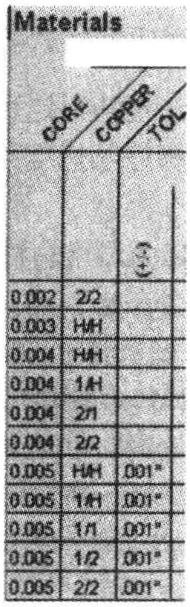


图 5.5 芯材和铜箔厚度

5.8.6 确定铜箔厚度、印制线路宽度、层数和工艺

所有的设计都取决于电流和电压的要求以及所使用的元件。并不需要最小的线路和间隙，因为这通常会改变工艺和增加成本。我们的目标是在保持设计可行的前提下，使用尽量简单的工艺。在确定宽度和间隙之前，印制板也许会挤满了元件。宽度和间隙应该有多小依赖于许多元件上引脚之间的间隙。大多数的决定是基于经验做出的，如果不用经验方法的话，其次就用试探的方法。

在设计的过程中，印制板的层数随时都会增加或减少。如果这些要素中的任意一个处于工艺限值之下或处于一个更高的工艺之下，整个的设计也将处于那个工艺之下。

记住那些后，就可以确定宽度和间隙以及尝试布线。如果布线失败，那么就需要增加层数或提高工艺水平。通过增加层数（一个更简单的选择），就不需要增加其他的属性，设计也可以继续。如果增加层数不是一个选择或者设计已经达到了该工艺水平所允许的最大层数，那么就需要提高工艺水平。

提高工艺水平时，需要改变以下的选项：

- 减小宽度
- 减小间隙
- 减小焊盘直径
- 增加尺寸比
- 减小导通孔尺寸
- 减小导通焊盘尺寸
- 增加印制板的层数

很明显最初决定正确的工艺或增加层数是十分重要和可节约时间的。

当选择好了标准并确定了通用的堆叠之后，决定材料和铜箔的厚度以及线路的宽度就变得不那么复杂了。设计师设计的大多数的印制板在所有的层中都将使用 1/2 盎司铜箔材料。这是最为通用的材料，并且有着最多数量的不同厚度。牢记这一点之后，大多数的设计将以这些值开始。0.031 英寸和 0.062 英寸的板厚度是最常见的，因为库存的芯材 0.031 英寸的倍数（0.031 英寸，0.062 英寸，0.093 英寸等）。如果不是单面板或者两面板，多层板可做成期望的厚度也可以做成 0.031 的倍数。设计成这些值就提供了一致性和标准化。使用这些值，所有的线路宽度和间隙计算都能够确定。仅仅因为线路的宽度是 0.006 英寸或 0.005 英寸，并不意味着就必须那样设计。

最初的线路宽度和间隙至少要比在所采用工艺水平下最小的宽度和间隙大 0.002 英寸。这将允许设计师在改变工艺之前减少宽度和间隙到所采用工艺的限值。

先为密度最大的图形（如 PGA、BGA 或者密集连接器）选择元件，然后首先尝试在这个区域上布线能够帮助在做很多工作之前决定宽度和间隙。通常像这样的元件将决定印制板所采用的工艺。表 5.3 是一个元件和印制板所采用工艺的可扩展的速查表。这些是一般的情况，就像最一般的情况也有例外一样。对于 SMT，一般情况是如果设计师要求 SMT，那么空间是最可能要考虑的问题。虽然 SMT 能够用在常规工艺的印制板上，通常也可以使用高级工艺。因为集聚在一起的引脚的数量多，需要布线引出这块区域，像 BGA 之类的元件通常要求尖端的工艺技术。

例如，一个在先进工艺中到中心有六路的 BGA 要求至少五个信号层以引出元件区，然

而采用尖端工艺的印制板只需要半数的信号层。

许多元件如果要用的话，就会要求一定水平的工艺。表 5.3 显示的是一些通用的元件以及所要求使用的工艺。

表 5.3　组件和工艺速查表

组　件	低 限 工 艺	组　件	低 限 工 艺
通孔	传统（0.006/0.006 英寸）	BGA、PGA 封装	尖端
SMT	先进（0.005/0.005 英寸）		艺术级

表 5.4 显示了一个工艺的速查表。表 5.5 显示了当提高工艺水平时，所做出的变化表。

表 5.4　各种工艺快速参考指南

属　性	传　统		先　进		尖　端	
	标　准	低　限	标　准	低　限	标　准	低　限
最小完成钻孔	0.014 英寸（0.3556）	0.012 英寸（0.3048）	0.012 英寸（0.3048）	0.010 英寸（0.254）	0.010 英寸（0.254）	0.008 英寸（0.2332）
最小电镀孔（基于 0.005 英寸电镀）						
0.031 英寸板	0.013 英寸（0.3302）		0.007 英寸（0.1778）		0.003 英寸（0.0762）	
0.042 英寸板	0.013 英寸（0.3302）		0.007 英寸（0.1778）		0.003 英寸（0.0762）	
0.080 英寸板	0.013 英寸（0.3302）		0.007 英寸（0.1778）		0.005 英寸（0.0762）	
0.100 英寸板	0.013 英寸（0.3302）		0.008 英寸（0.2332）		0.008 英寸（0.2032）	
间隙（基本铜）						
间隙（0.5 盎司铜）	0.008 英寸（0.2032）	0.006 英寸（0.1524）	0.006 英寸（0.1524）	0.005 英寸（0.127）	0.004 英寸（0.1016）	0.003 英寸（0.0762）
间隙（1 盎司铜）	0.010 英寸（0.254）	0.007 英寸（0.1778）	0.006 英寸（0.1524）	0.006 英寸（0.1524）	0.006 英寸（0.1524）	0.004 英寸（0.1016）
间隙（2 盎司铜）	0.012 英寸（0.3084）	0.008 英寸（0.2032）	0.010 英寸（0.254）	0.007 英寸（0.1778）	0.008 英寸（0.2032）	0.005 英寸（0.0762）
间隙（3 盎司铜）	0.014 英寸（0.3556）	0.010 英寸（0.254）	0.012 英寸（0.3084）	0.008 英寸（0.2032）	0.010 英寸（0.254）	0.008 英寸（0.2032）
地线平面对边缘	0.020 英寸（0.508）	0.008 英寸（0.2032）	0.010 英寸（0.254）	0.006 英寸（0.1524）	0.008 英寸（0.2032）	0.003 英寸（0.0762）

（续表）

属　性	传　统		先　进		尖　端	
	标　准	低　限	标　准	低　限	标　准	低　限
孔间隙（单面/双面）+电气间隙	0.008 英寸（0.2032）	0.006 英寸（0.1524）	0.006 英寸（0.1524）	0.004 英寸（0.1016）	0.004 英寸（0.1016）	0.002 英寸（0.0508）
孔间隙（多层）+电气间隙	0.010 英寸	0.009 英寸	0.008 英寸（0.2032）	0.006 英寸（0.1524）	0.005 英寸	0.003 英寸
引脚间隙	0.010 英寸		0.010 英寸		0.010 英寸	
宽度(0.5 盎司铜）	0.008 英寸（0.2032）	0.006 英寸（0.1524）	0.006 英寸（0.1524）	0.005 英寸	0.004 英寸	0.003 英寸
宽度（1 盎司铜）	0.010 英寸	0.007 英寸	0.008 英寸	0.006 英寸（0.1524）	0.006 英寸（0.1524）	0.004 英寸
宽度（2 盎司铜）	0.012 英寸	0.008 英寸（0.2032）	0.010 英寸	0.008 英寸（0.2032）	0.008 英寸（0.2032）	0.005 英寸
宽度（3 盎司铜）	0.014 英寸	0.010 英寸	0.012	0.010 英寸	0.010 英寸	0.008 英寸（0.2032）
制造商孔环（单面/双面）		0.006 英寸（0.1524）		0.004 英寸		0.002 英寸
制造商孔环（多层）		0.009 英寸		0.006 英寸（0.1524）		0.003 英寸
带通孔的焊盘直径（单面/双面）	Hole+0.024 英寸	Hole+0.022 英寸	Hole+0.020 英寸	Hole+0.018 英寸	Hole+0.016 英寸	Hole+0.014 英寸
带通孔的焊盘直径（多层）	Hole+0.030 英寸	Hole+0.028 英寸	Hole+0.024 英寸	Hole+0.022 英寸	Hole+0.018 英寸	Hole+0.016 英寸
焊接镀覆孔焊盘直径（理想）	2×hole		2×hole		2×hole	
焊接镀覆孔焊盘直径（中等）	1.75×hole		1.75×hole		1.75×hole	
焊接镀覆孔焊盘直径（最小）	1.5×hole		1.5×hole		1.5×hole	

注意：这些值基于第 2 章中的工艺表。可调整它们来适应单独的结果。“标准”栏是推荐使用的值。若非必要，不建议使用“低限”值。

表 5.5　工艺快速变化表

工艺变化	宽度减少（英寸）	间隙减少（英寸）	焊盘减少（制造商孔环）（英寸）	板厚孔径比减少	带通孔焊盘减少（英寸）	层　增　加
传统到先进	0.001（0.006 到 0.005）	0.001（0.006 到 0.005）	−0.003	8∶1 到 10∶1	−0.003 或新通孔	10/12 层到 20 层
先进到尖端	0.002（0.005 到 0.003）	0.002（0.005 到 0.003）	−0.002	10∶1 到 12∶1	−0.002 或新通孔	20 层到 30 层

- 确定其他的设计属性或设计原则
- 如果可用，分层确定类型线路和空间
- 配置设计/作业
- 全面的设计规则
- 模板增大（全局的）
- 粘贴增大（全局的）
- 平面增大（全局的）
- 焊盘增大（全局的）
- 热分界线（焊盘直径/4）
- 热间隙

5.8.7　焊盘和通孔

了解生产和组装的约束条件并允许设计师决定恰当的焊盘表面积。IPC有最小的环孔规定，但这些最小值除非必要，否则就不要使用。IPC规定最小外环孔是 0.002 英寸，内环孔是 0.001 英寸。这个值应当超过孔壁尺寸。环孔不需要与孔壁被覆金属同样尺寸，因为外部焊盘就像孔壁的帽子并帮助孔壁固定其位置。在大多数工艺中制造商要求一附加的焊盘以保证孔壁有一些焊盘区域，如图 5.6 所示。

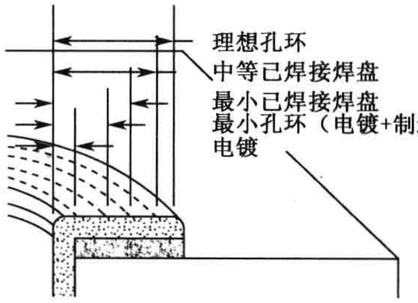


图 5.6　不考虑标准焊盘构成（制造商最小孔环）的最小孔环

5.8.8　确定通孔

孔和通孔传统上被分为两组：电镀的（支持的）孔和非电镀的（不支持的）孔。“支持的”指孔壁上的电镀。非电镀的或不支持的孔也许有或者没有焊盘，例如安装孔和无孔壁电镀（参见图 5.7）。这是制造上的术语，但是对于设计而言，孔应当分为被焊接的和不被焊接的两类。

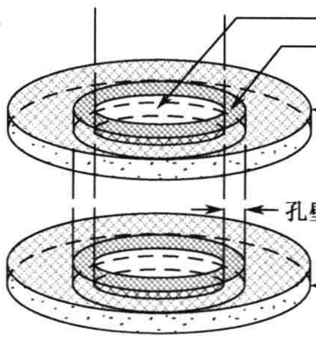


图 5.7　通孔定义

对于这些类别中每一个，被电镀的和不被电镀的分类应当被标识出来。

- 被焊接的
  - 被电镀的通孔（PLTH）（包括通孔）
  - 不被电镀的通孔（NPTH）
- 不被焊接的
  - 被电焊的通孔（PLTH）
- 有焊盘和没有焊盘的不被电镀的通孔（NPTH）

设计师必须首先知道焊盘是否被确认为被焊接的或不被焊接的。这个信息帮助工程师决定焊盘的计算是为了焊接还是为了最小孔环。如果焊盘没有被焊接，就能够使用标准的环孔并根据组装要求不变。

注意：通孔仅仅是一个没有焊接的电镀通孔。在每个组装或应用中，它不要求利用计算来确定焊盘尺寸，但是要求对最小环孔或能够承载足够电流的最小、最经济的尺寸进行一次较简单的计算。

1. 非焊接通孔

最小孔环由两个不同的项组成。当制造商谈到最小孔环时，指的是标准要求的或是设计师标注的最小孔环外加其自身的孔环要求。IPC 或其他标准所指定的孔环是印制板完成所要求的最小孔环。表 5.6 显示的是不考虑规范的最小可能的孔环。不应当使用这个值而应当使用一个更实际的值。

表 5.6　完成孔环（无制造商孔环）

	电　镀	+	标 准 孔 环	=	最 小 孔 环
外部焊盘	0.0025 英寸	+	0.002 英寸	=	0.0045 舍入到 0.005
内部焊盘	0.0025 英寸	+	0.001 英寸	=	0.0035 舍入到 0.004

这个值是供通孔或不被焊接的焊盘使用而不应当用在被焊接的焊盘上。记住孔环仅仅是焊盘直径的 1/2。为了做到这一点，厂商要求额外的焊盘面积以容纳加工中的误差：成像、钻孔和配准，如图 5.6 和表 5.7 所示。在常规的工艺中每一种是大约 0.003 英寸。当然厂商的孔环必须叠加到焊盘上：

不被焊接的总孔环 = 完成的孔环+厂商的孔环

例子：0.0025 英寸+0.009 英寸 = 0.0115 英寸总孔环

为了得到总直径，该值的总孔环必须要被 2 乘：

总直径 = 总孔环×2

例子：0.0115 英寸×2 = 0.023 英寸

现在已经得到了焊盘的要求，最终的孔直径必须要被叠加上来以得到总的焊盘直径：

最终的焊盘直径＝总直径+最终的孔直径

例子：0.023 英寸+0.008 英寸＝0.031 英寸

表 5.7　一般焊盘直径计算

孔　环	+	制造商孔环	×2	+孔	＝焊盘直径
0.0025 英寸	+	0.009 英寸	×2		
0.0025 英寸	+	0.009 英寸	×2		

所以，对于一个 0.008 英寸的孔其最小焊盘直径应当是一个 0.031 英寸。再次强调，必须要注意这是一个最小值，除非必要，不然就不要使用。推荐的尺寸至少比最小直径大 0.002 英寸。这些例子的值是基于常规工艺的。

求解外部/内部焊盘直径＝Min.孔环（0.0025 英寸）+

MFG 孔环（0.009 英寸）×2+孔直径

例子：（0.0025 英寸+0.009 英寸×2+0.070 英寸）

对于外部焊盘孔环至少应当比电镀层厚 0.002 英寸（环形的），对于内部焊盘孔环至少应当比电镀厚 0.001 英寸。有效的电镀层厚度是 0.0025～0.0030 英寸（应在制作记录中指定其厚度）。在添加 MFG 孔环之前使用表 5.6 作为孔环的指导。

现在厂商的孔环被添加上来（参见表 5.8）成为了焊盘的一部分。MFG 孔环被添加到厂商的误差造成的因素中。这些因素必须要添加上以显示最终的焊盘尺寸。

表 5.8　一般完成孔环（包括最小孔环和制造商孔环）

	最小孔环	+	制造商孔环			×	2	=	焊盘区域		
			传　统	先　进	尖　端				传　统	先　进	尖　端
外部（双面）	0.005	+	0.006 英寸	0.003 英寸	0.002 英寸	×	2	=	0.017 英寸	0.011 英寸	0.009 英寸
外部（多层）	0.005	+	0.009 英寸	0.006 英寸	0.003 英寸	×	2	=	0.023 英寸	0.017 英寸	0.011 英寸
内部（双面）	0.004	+	0.006 英寸	0.003 英寸	0.002 英寸	×	2	=	0.016 英寸	0.010 英寸	0.008 英寸
内部（多层）	0.004	+	0.009 英寸	0.006 英寸	0.003 英寸	×	2	=	0.022 英寸	0.016 英寸	0.010 英寸

使用这些值，设计师可以简单地加上孔，结果就是完成的焊盘。

表 5.9 是使用 0.031 英寸孔的一个例子。

表 5.9　焊盘直径速查表（传统/先进/尖端）

	焊盘区域	+	孔直径	=	完成焊盘
外部（双面）	0.017/0.011/0.009 英寸	+	0.031 英寸	=	0.048/0.042/0.040 英寸
外部（多层）	0.023/0.017/0.011 英寸	+	0.031 英寸	=	0.054/0.048/0.042 英寸
内部（双面）	0.016/0.010/0.008 英寸	+	0.031 英寸	=	0.047/0.041/0.039 英寸
内部（多层）	0.022/0.016/0.010 英寸	+	0.031 英寸	=	0.053/0.047/0.041 英寸

2．被焊接的通孔

除了外表面面积必须要更大，以加强散热来避免在第 3 章中所描述的问题，大多数的规则都适用于被焊接的通孔。如果可能，为了一致性和便于计算，除非需要简化的焊盘，否则内焊盘应当与外焊盘一样。其原因是外焊盘被焊接了而内焊盘却没有。被焊接的通孔必须与引脚直径成比例增加，因为更大的引脚要求更多的热量；而为了在引脚和焊盘间均匀散热，焊盘也必须增大。

为焊接通孔的焊盘，有一个可以接受尺寸的范围。这个范围不小于最小的孔环到其 2 倍(2x)的孔尺寸。被焊接焊盘的直径(粗略估计方法)是最终孔直径的 2 倍。与设计的要求相关联的三个基本的乘数能够被用来确定焊盘的直径(参见表 5.10)。图 5.8 能够用来决定使用哪一种计算方式。

表 5.10　计算完成已焊接焊盘直径

完成孔尺寸	×1.5	=最小已焊接焊盘直径	(不小于完成孔+孔环+制造商孔环)
完成孔尺寸	×1.75	=中等已焊接焊盘直径	(不小于完成孔+孔环+制造商孔环)
完成孔尺寸	×2	=最大已焊接焊盘直径	(不小于完成孔+孔环+制造商孔环)

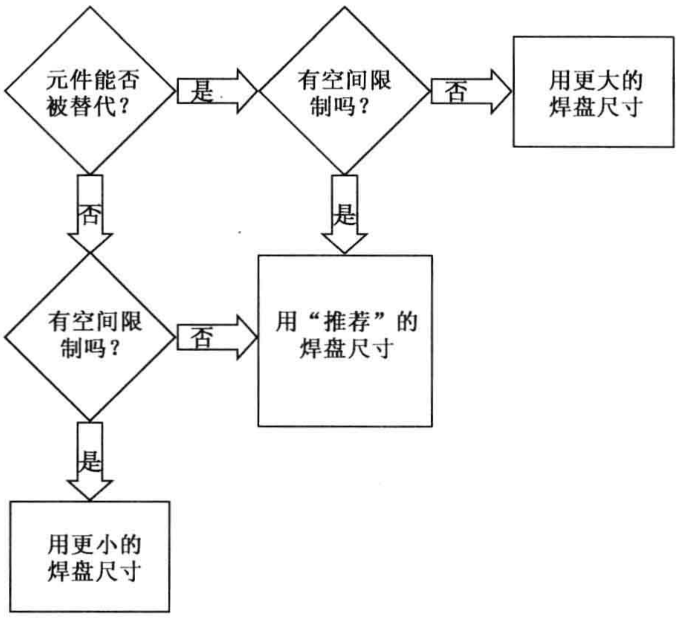


图 5.8　确定正确焊盘的流程图

注意：这些值是基于标准元件引脚材料，也许会随着材料的类型而变化。

注意：设计师资源软件计算这三个值并将显示不小于最小孔环（包括完成的孔环和厂商孔环）的那些值。

注意：为了特殊的考虑，附属软件允许你跨过印制板调整“过孔值”（默认+0.010 英寸）和焊盘，并通过选择铜箔的厚度来调整焊盘。可打印的形式包括用于计算孔和焊盘的工作表。

3．热焊盘

热连接仅仅是焊接焊盘所使用/要求的特征。通常用在平面层或实心铜箔区域中，它们是以+或者×的形状连接在焊盘上的三个或四个印制线路上。实际的印制线路通常被称为辐条，这是因为它们的外表像自行车的辐条。焊盘上的这些辐射状部分的作用并不只是将平面或立体的铜箔区域与孔壁相连，而是减少铜箔区域的散热效应。印制板铜箔与元件引脚金属之间的平行的比率要求焊接的通孔有着有限的铜箔面积，但是要保持着足够的面积使其有载流能力。因此辐条宽度合并起来就等于焊盘的直径。热焊盘与其他的内层焊盘有着相同的直径。包含焊盘和辐条的区域被称为热外直径。这一距离等于内直径×1.5。

术语热焊盘现在实际上是用词不当。手卷带方法使用负面板，使用实际的焊盘。现在有了计算机产生的图形，就不再使用焊盘了。

4．非镀通孔

有两种类型的非镀通孔：有焊盘和无焊盘。需要重点注意的是，焊盘是被电镀的或没有被电镀的。在电镀过程中，如果焊盘存在，孔就要电镀铜箔。如果焊盘没有被电镀，那么在电镀过程后必须要被钻孔，从而产生额外的花费。没有焊盘的 NPTH（非电镀通孔）也许可以和其他的元件钻同样多的次数。

5．非镀通孔，有焊盘

非镀通孔（NPTH）是指在穿过焊盘的孔中无电镀。这意味着除了正常的铜黏合剂之外，无额外的载体来支持焊盘。出于这个原因，焊盘必须足够大以便于黏合和在加热或焊接时支撑焊盘。IPC 定义这种非支持焊盘的孔环为 0.006 英寸（0.152mm）。如果焊盘要被焊接，此数据应该更大。

6．非镀通孔，无焊盘

通用 NPTH 与一块印制板上的无焊盘或孔壁电镀的孔一样大。像安装孔（或螺丝孔）、螺丝调整的接入孔、导线的传递孔等。非电镀或孔环要求是必需的，通用通孔与其他孔不同，因为它无电镀或焊锡考虑。

5.8.9　安装孔

为了补偿钻孔误差，安装孔周围的间隙较大。这些孔与板边缘的标准间隙不相同。这一间隙是指有效间隙要求+钻孔定位+层定位（如果需要的话）。钻孔定位误差和层定位误差仍然存在，但是没有图像定位，因为根本就没有图像。由于没有焊盘，定位孔需要被区别

对待。制造商的孔环对误定位进行了补偿；于是所有的误差都被留在焊盘区。这意味着通常为焊盘所预备的孔环被转换成间隙区。

如果软件提供预留空隙（keep-outs）、焊盘周围的间隙区，或者一些种类的安装孔间隙属性，这实际上就把制造商以孔环变成通用规则了。

5.8.10 板厚孔径比

如第 2 章所述，首先应该确定最小的孔。否则制造商也许无法构建这块印制板，或者会构建出非常昂贵的印制板。如前面提到的那样，在和制造商讨论性能时，使用初始或完成板厚孔径比以及最小完成钻孔。表 5.11 为完成板厚孔径比的速查表。

提示：如果制造商只能提供初始板厚孔径比，那么找到最小初始孔，并且增加“过钻”，或者制造商钻孔的数目。然后除以相同的板厚度以提供完成板厚孔径比（例如，12∶1 初始板厚孔径比，相当于在一块 0.125 英寸印制板上钻 0.010 英寸的孔）。钻孔加上［0.005 英寸］= 0.015 英寸；现在再除板厚度 = 8。这就是板厚孔径比 8∶1 的第一部分。

表 5.11 完成板厚孔径比的速查表

板 厚 度	5∶1（常规工艺）最小钻孔为 0.018 英寸	8∶1（先进工艺）最小钻孔为 0.012 英寸	10∶1（尖端工艺）最小钻孔为 0.008 英寸
0.010	0.002	0.001	0.001
0.020	0.004	0.002	0.002
0.030	0.006	0.003	0.003
0.040	0.008	0.005	0.004
0.050	0.010	0.006	0.005
0.060	0.012	0.007	0.006
0.070	0.014	0.008	0.007
0.080	0.016	0.010	0.008
0.090	0.018	0.011	0.009
0.100	0.020	0.013	0.010
0.125	0.025	0.016	0.012
0.150	0.030	0.019	0.015
0.175	0.035	0.022	0.017

注意：阴影区的数据均低于最小钻孔尺寸。这些数据是基于制造商的平均最小钻孔数据（根据工艺）。数据也许会随制造商变化，但是使用平均数据可确保所有具备类似工艺的制造商能制造这块印制板。

5.8.11 确定可应用的制造和定位误差

虽然最好对所有焊盘都使用孔环作为最小数据，但当间距是一个问题时，这样做就会出现问题。孔环组成为

- 钻孔定位误差
- 图像定位误差
- 层定位误差（对于多层板）

这些数据控制印制板的很多方面，包括：

- 印制板边缘
- NPTH 焊盘直径
- PLTH 焊盘直径
- 导线至孔间隙
- 导线至切口间隙

下列图像显示在此过程中，考虑到制造孔环，图像、层以及钻孔移位产生的影响。图 5.9 是带有图像（铜焊盘）、层和对准钻孔的正常印制板。

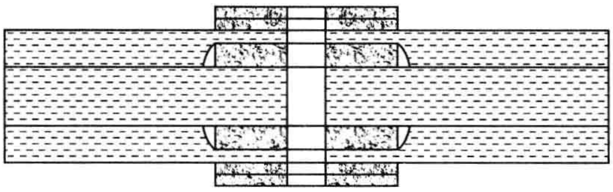


图 5.9　多层板

图 5.10 为分别显示印制板三部分每一部分的分解图。

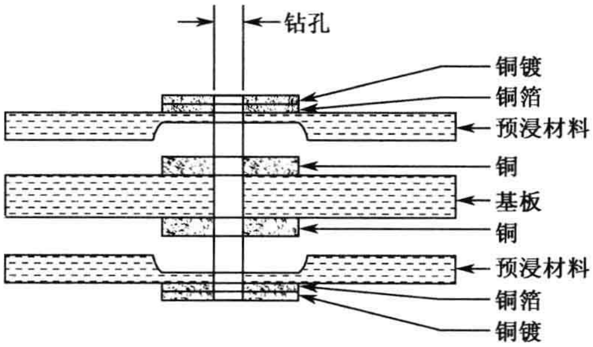


图 5.10　多层板分解图

图 5.11 显示层移位的影响，在这个例子里，内层发生了允许位移。

图 5.12 显示层移位的同时，图像也发生了移位。

图 5.13 显示在层和图像移位的同时，钻孔也发生了移位。

每种移位的允许范围为+0.003 英寸，总计为 0.009 英寸的位移。这些允许位移确定了制造商的孔环。

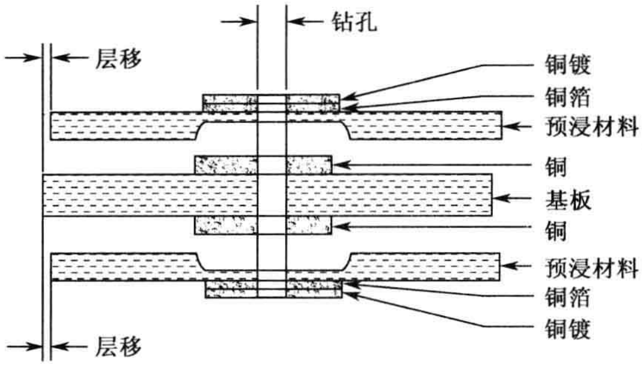


图 5.11 在压合过程中出现层移的多层板

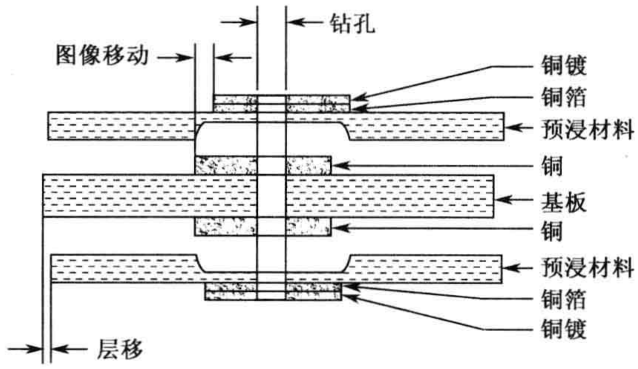


图 5.12 出现层移和图像移动的多层板

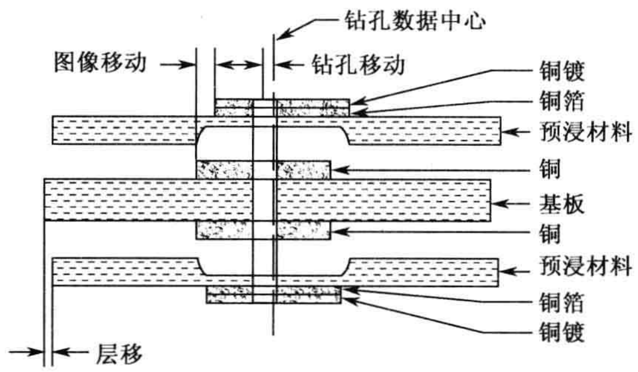


图 5.13 出现层移、图像移动以及钻孔移动的多层板

图像定位公差在某种程度上总是存在的。直接图像法在很大程度上减少了这一数值，但是公差依然存在。

层叠定位只在多层板中计算。在多层板被层叠和压合时，就会常有定位问题。对于单面/两面板，印制板为单片，而且在此过程中不能移动，于是就不会产生任何定位误差。

孔环规范通常包括层定位，因此当制造一块 SS 或 DS 板时，简单移去那些数据即可。因此让你的制造商确定这些数据非常重要。

5.8.12　确定 PLTH 的载流容量

要确定 PLTH 的载流容量，孔必须被展平以等效为一条印制导线（以图 5.14 为例）。这种等效不会太准确，但是使用完成孔，此数据已经完全足够。

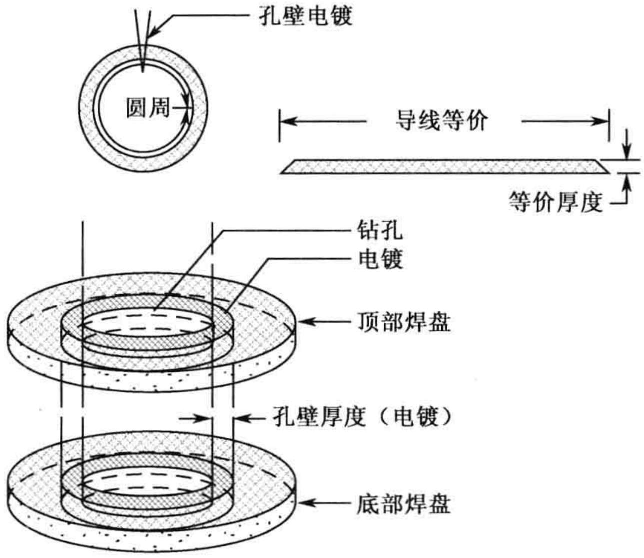


图 5.14　孔壁展平和等效印制导线

$$完成孔\times\pi = 导线宽度$$

$$例如：0.030\times3.14 = 0.0973$$

展平厚度与等效铜厚度相当。普导通孔壁厚度是 0.0025～0.0028 英寸，等效为 2 盎司铜。这样可以通过 2 盎司铜×0.0973 英寸宽度来计算载流量（0.0007 英寸= 0.5 盎司，0.0014 英寸= 1 盎司，0.0028 英寸 = 2 盎司，0.0042 英寸 = 3 盎司）。

5.8.13　确定间距/间隙

间距既可通过绝缘电压要求来确定，也可通过机械误差补偿确定，或者由这两者共同确定。

考虑到电气要求，内层的间隙与外层的间隙有一个很明显的倍数关系，这是一个简单算式和简单过程，考虑到机械误差补偿，实际间隙要比电气间隙大。

1．导线至导线间隙，导线至导通孔间隙

这些数据与工艺要求接近，这一间隙应该是工艺要求和电气要求的最小值。因为印制导线和导通孔都不会经过焊接，所以不必考虑焊接间隙。如导线至焊盘间隙和导线至通孔间隙的数据由像定位和焊接间隙这样的附加要求来决定。

2．导线至焊盘间隙

一般来说，导线至焊盘之间的间隙就是电气间隙。由于阻焊定位误差，或者“阻焊膨胀”，要求在已焊焊盘和导线之间的外部间隙变得更大。当焊盘被焊接时，这样做可以消除导线裸露和短路的可能性。除此之外，电气间隙的要求并不来自导线至导线或导线至焊盘，而是针对裸露区域。这就需要将电气间隙加到导线至焊盘间隙上。

常规印制板的典型设置是超出阻焊膨胀［每边为0.005 英寸（0.127mm）］0.010 英寸（0.254mm）；最小间隙为0.006 英寸（0.1524mm）；对于阻焊层，其平均定位误差为 0.003 英寸（0.0762mm）。0.005 英寸（0.127mm）加上 0.003 英寸（0.0762mm），阻焊膨胀允许裸露在焊盘周围的区域为 0.008 英寸（0.2032mm）。

这里规定导线至焊盘间隙为环形阻焊膨胀+阻焊定位+电气间隙（如表 5.12 所示）。

表 5.12 导线至焊盘的间隙

环形阻焊膨胀	+	阻 焊 定 位	+	电 气 间 隙	=	间 隙

3．导线至通孔间隙

导线至通孔间隙与导线至焊盘间隙类似，只是与标准间隙有所区别。一个焊盘和一段导线在同一层上，当层或胶片被错误定位时，焊盘和导线一同移动。一个焊盘有一个通孔，制造商需要在焊盘上有更多的空间以考虑孔与层之间的错误定位。于是任何定位误差都会在焊盘内部保留，内部间隙是电气间隙。对于导线到孔的间隙，因为孔未保留在焊盘上，间隙包括定位误差加上电气间隙和电镀，实际的钻孔位置在进行测量的地方。表 5.13 可以用来计算导线至通孔的距离。

表 5.13 导线至通孔的间隙（单面/两面）

电 镀	+	定位误差（层误差+钻孔误差+图像误差）	+	电 气 间 隙	=	间 隙

需要加上的只是那些应用的定位误差。单面/两面印制板没有层定位误差。只有被压合在一起的多层板有可能的层叠误差。

一块使用电气间隙为 0.006 英寸的常规工艺的多层印制板的实例如表 5.14 所示。

表 5.14 导线至孔的间隙（多层板）（英寸）

电 镀	+	定位误差（层叠误差+钻孔误差+多层图像误差）	+	电 气 间 隙	=	间 隙
0.0025	+	0.003+0.003+0.003	+	0.006	=	0.0175

一块使用电气间隙为 0.006 英寸的常规工艺的单面/两面印制板的实例如表 5.15 所示。

表 5.15　导线至孔的间隙（单面/两面板）（英寸）

电　　镀	+	定位误差（钻孔误差+两面图像误差）	+	电 气 间 隙	=	间　　隙
0.0025	+	0.003+0.003	+	0.006	=	0.0145

4. 通孔至通孔间隙

通孔至通孔间隙很简单。同一时间钻相同尺寸的孔，这些孔需要以表 5.16 所示的间距分隔。由于钻孔时的误差，所钻的孔就有“涨开”的机会，或者侵占其他间距。这些数据取决于所使用钻孔机的工艺，增加更多间距可以提供附加的强度。

表 5.16　通孔至通孔的间隙（英寸）

钻 孔 尺 寸	最小间距要求（传统工艺）
<0.030	0.010
<0.080	0.015
>0.080	0.020

5. 焊盘至焊盘间隙

焊盘至焊盘间隙不仅受工艺限制，而且受装配要求的限制。消耗大量焊锡和热量的大焊盘需要更大的烙铁。这就要求焊接区的间隙比表 5.17 所示的更大。

表 5.17　根据焊盘尺寸确定的焊盘至焊盘的间隙（英寸）

焊 盘 尺 寸	最小间距要求（传统工艺）
<0.030	0.008
>0.030	0.010～0.012

5.8.14　焊剂屏障

焊剂屏障是被放在焊盘之间的材料，用来防止焊锡从一个焊盘流到另一个焊盘。通常在具有细小引脚间距的表面贴装元件和焊盘间距非常接近时考虑使用焊剂屏障。阻焊层或一些其他类型的覆盖层可将具有大引脚间距的表面贴装元件分隔开。在表贴焊盘和阻焊膨胀之间小空间允许在焊盘之间放置很小数量的阻焊屏障。这些限制由制造商的工艺和制造商的限制决定。阻焊屏障最小宽度通常是与最小导线和间距相同。使用很高级的工艺（如领先的或最先进的工艺），当芯片尺寸和元件尺寸变得极小时，就可以使用不同材料来进行阻焊。

- 确定装配方向（尤其对于自动装配）。
- 确定/决定元件方向。对于高维修率的印制板，所有的 IC 都应该朝同一方向，并且以同一方式定位。
- 根据类型确定面积。

- 确定层的属性
  - 数目
  - 对称性（如信号平面）
  - 层方向
  - 层类型（如严格电源，数字）
  - 拆分平面
- 将印制板、切口以及槽的边框复制到那些在边缘间隙内存在铜的平面层上。

5.8.15 间隙与板至边缘间隙

铜至边缘间隙，也就是所谓板至边缘间隙，是一条宽度为平面层的边缘和间隙区域的间隙的两倍的线。制造注释应该指导制造者按这条线的中部来切割。这就是制造商在进行印制板切割时的做法。

5.8.16 槽

相对来说，槽与安装孔相似，但是按照板边缘对待。使用与板边缘间隙（铜至边缘间隙）相同的间隙数据。检查制造商的能力表可以看到最小的槽应该是多少。这是基于最小半径的，最小半径就是刳刨机刀头宽度的一半。因此最小槽一定是最小半径的两倍（参见表 5.18）。最小半径也必须由材料厚度和硬度来决定。

表 5.18 计算完成焊盘直径（英寸）

孔　环	+	MFG 制造商孔环	×2	+孔	＝焊盘直径
0.0025	+	0.009	×2		
0.0025	+	0.009	×2		

5.8.17 板边缘和槽间隙的生产

很多 PCB 软件包存在的问题是，在创建安装在层间隙上的橡胶条带切口或边缘时有误差。正如图 5.15 所示，在一个槽和印制板的所有刳刨边缘里都露出了内层铜，处理办法只有在设计中增加一个间隙区。在设计软件里，任何铜层上都应该在铜区域和所有刳刨边缘之间预留间隙区。这样就可以防止刳刨机刀头从印制板内部刨出铜。设计软件中使用的一项技术是使印制板外轮廓线两倍于所需的间隙。所有槽或板边缘都应该使用这样宽度的线作图。这条线应该被复制到任何负平面层，这样就可以提供所有平面层一致的间隙。按照与注释中指定制造商的约定，使用两倍于间隙宽度的线宽以印制板外轮廓的中心线进行刳刨。

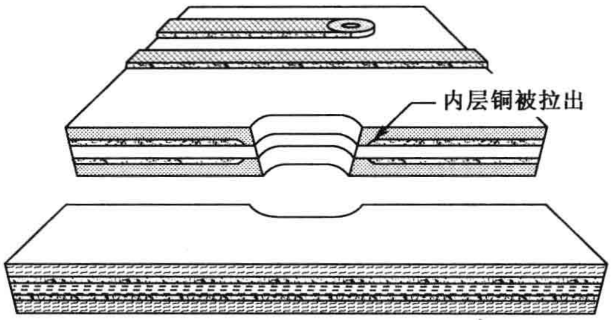


图 5.15　多层板上的槽

注意：负平面是一个特定平面层的称谓，在这一层上，有颜色的图像代表无铜区，空白区则代表铜区。

- 在平面层增加文字表示网络名称（GND，+5V 等）。
- 计算印制板厚度并确定所需的材料。尝试使用预先确定和以前用过的组合。在每次设计完成后也应保存成功的层叠组合。
- 如果合适，增加适当的定位孔。

5.8.18　定位

在特定情况下，定位孔是必需的。定位孔就是放置在印制板的外缘，用于刳刨特殊形状的印制板，比如圆形板以及一些槽。如果印制板不是一般的方形或矩形板，那么最好放置定位孔。有几种不同尺寸的孔可用，但是通常使用0.126英寸孔(0.125 英寸引脚)。将这些孔放置在印制板的外缘，刳刨时就可以在发生旋转的情况下依旧保持稳定。

5.8.19　基准

基准有几种不同的尺寸和形状。图 5.16 是老式基准。可作为自动装配的基准，并且对制造也有帮助。很值得推荐的做法是在印制板的外缘放置至少三个基准。这样做可以帮助制造商确保对齐，并且帮助设计者验证层对齐。

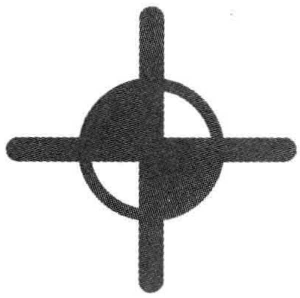


图 5.16　老式基准

- 给所有层或覆盖层添加基准面。这样不仅可以在完工之后验证对齐，而且有助于制造对齐。
- 在底边用铜标注印制板序列号。
- 印制板修订情况（用铜或手动标记）。
- 层号（用层号来标号）。
- 装配号（在顶层、网印层上）。

- 装配修订（预留手动标记的空白区）。

初始化检查

- 检查电源引脚是否被正确连接在元件上。
- 检查电镀安装孔是否按要求接地。
- 完成摆放位置，准备布线。

手动布线

- 首先布线以下类型的网络：
  - 最困难
  - 最复杂
  - 最紧密的网络
  - 很大电流
  - 很高电压
  - 敏感
  - 噪声
- 分离模拟和数字。
- 总线布线。

自动布线

- 必要的话，首先手动布那些必须用手动布线的项目。
- 确定自动布线的一般规则。
- 确定和选择“Routine”、“Do”、“Route”、“Strategy”文件。
- 在布线完成之后：
  - 手动整理路径
  - 斜接直角的转角
  - 运行 DRC/设计规则检查以确保满足间隙要求
  - 检查孔环

5.8.20 元件摆放和布线方法

元件摆放主要按照功能顺序和便于布线的要求来进行。一些印制板按照审美学来设计，所有元件以同一方向摆放，摆放方向是按照便于装配和自动装配来考虑的（更多信息请参见第 2 章）。元件排列也应便于维护和检修，但这样做有可能会增加布线的复杂程度。如果印制板属于很少维护或免维护应用，那么除了考虑装配之外，元件的方位可以忽视。

图 5.17 至图 5.19 说明了布线的几种方法。一块印制板可能会用到这几种布线方法的组

合，取决于层数目和元件摆放。元件可能都会按类似的方向摆放，并提供一致的第一引脚位置，或者摆放得可以容纳布线并减少通孔数量。

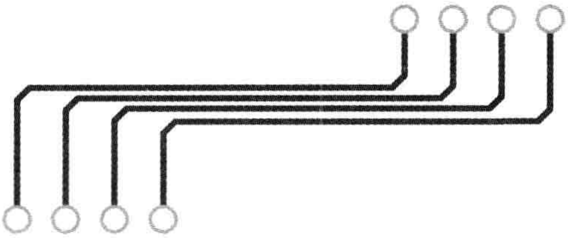


图 5.17　简单总线布线

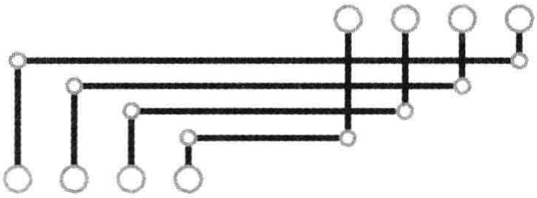


图 5.18　倒转布线

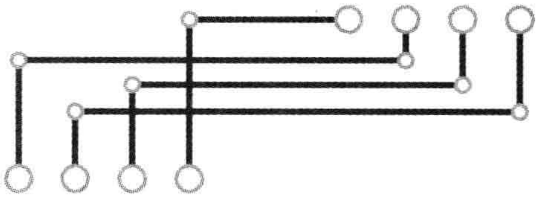


图 5.19　交替布线

交替布线(参见图 5.19)就是不同层布线方向不同。顶层均为水平线，底层均为垂直线，每层不同。交替布线也被用于某些噪声设计中，可以减少导线并行和串扰。

倒转布线法(参见图 5.18)与交替布线法相同，但其连接引脚成镜像排列。

注意：在高频设计中，减少导通孔数量是非常重要的，这样可以减少层转换的数量，也可以减少按钻孔数量计算的制造成本。

5.8.21　按照已知间距确定导线宽度

确定导线宽度的一个控制因素是一个连接器上的焊盘间距。不管电流要求，也必须摆放一条导线。在焊盘根据装配和可维修能力已确定，并且电流要求已确定后，按照本章前面所述，就可以确定导线的宽度。如果初始导线宽度不合适，有以下几个选择：

- 改变连接器或元件。
- 采用双层板。
- 增加铜厚度。
- 如果在内层，将导线从内层改到外层（外层导线可能会比内层更细）。
- 减小间隙设置。

值得注意的是，一根导线的弱点在于其最细处，如果一根导线由于通过电流而断裂，断裂处一定是最狭窄点或铜数量最少之处。在锥形导线和瓶颈形导线中，需要了解最细处是导线的最小宽度，而导线的其余部分比实际要求更宽。

5.8.22 穿出与散开

元件穿出和散开对于设计来说是关键的，并且一般总是位于确定导线宽度的区域（参见图 5.20）。元件穿出甚至有可能确定所需层的数量。引脚网格阵列（PGA）是最难以散开的元件之一，设计者甚至不得不从中心给这种元件的每一行引脚分配一信号层。如图 5.21 所示，四行信号引脚需要三个信号层。

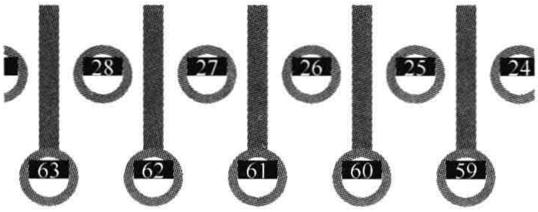


图 5.20 可用穿出间隙

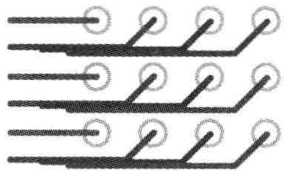


图 5.21 PGA 穿出

在印制板的底层布第一行引脚。这样做会减少或消除焊接带给导线的短路和损害。

5.8.23 宽线布线

宽线布线是关于导线宽度比所需或最小导线宽度更宽的一个术语。宽线布线建议用于：

- 发生浪涌
- 有不确定的电流要求
- 印制导线的电阻有问题
- 导线经常接通
- 温度高

宽线布线的优势在于导线散热好，这样就可以通过稳定的电流并且有可以在更高的温度下运行。

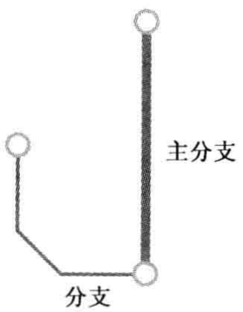


图 5.22 分支电路

5.8.24 分支电路

在整个电路中，一般不可能全部承载同样大的电流。有一个源点，可能有好几个终点。每个终点都可能承载不同数目的电流。因此，同一电路的每个分支不必有同样的宽度（如图 5.22 所示）。只有软件支持分支电路（子网络），并且设计者分别确定每个分支，才能产生分支电路。诸如地和 Vcc 这样的电路可能有很高的电流要求，而且会出现电流汇集。汇集电流可能达到 5A，而且被分配到 5 条电路中，每条电路 1A；或者主分支可以承载 5A 电流，然后分裂为每一分支承载 1A 导线。

5.8.25　布线时的元件摆放

像连接器、开关、灯这样的元件，有时有摆放要求并且应该首先摆放。元件摆放要求首先由自动装配（如果使用）和维护要求确定。像电阻、电容这种分立元件应该相互或和其他元件一起被摆放在一条线上，这样既可以避免路径阻碍，也可以建立布线通道（如图 5.23 所示）。

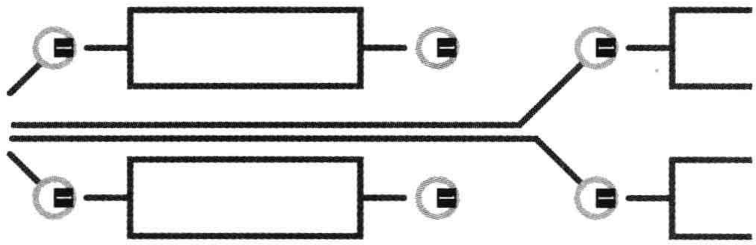


图 5.23　在元件间布线

也可以预先确定路径并预留元件空白，这样做的好处有：

- 信号分离
- 长度匹配
- 减少弯线
- 减少通孔数目
- 减少所需层数

5.8.26　外形或功能

印制板设计中，外形和功能是永恒的矛盾。应用、印制板空间、装配的要求以及几条原则驱使设计者做出决定。自动装配要求将元件的方向主要按同一方向摆放。手动装配要求（推荐）元件差不多均匀摆放，以避免在元件堆积时发生混淆。很多公司喜欢均匀、平滑的印制板；设计者则希望将元件摆放在容易布线的最佳位置。印制板的区域要求元件按惯例摆放，依据这种惯例，所有元件可以在限定空间内以最少层数布线。这些方法都不是唯一的，但是需要在元件摆放时，将各个方面结合起来考虑。折中的方法是元件同一方向摆放，但是考虑最大的布线可能性。

5.8.27　主布线层

主布线层不是必要的，但是可以减少层数并提供均匀性。单面板当然只有一面，这面就是主布线层。

多数有通孔的两面板或多层板的底面可作为主布线层，这样可减少元件下的印制导线，

为切断和跨接线，以及消除热量和元件噪声提供更大的方便。

多数表面贴装的两面板或多层板，其表贴面可作为主布线层。表贴元件需要导通孔连接任何其他层上的元件，因此更行之有效的办法是把它们放到同一层上。

5.8.28 主布线方向

对于单面板，没有主布线方向。布线时需要所有方向。

对于两面板或多层板，每层需要交替的方向，如表 5.19 所示。

表 5.19 交替布线方向

层 数	方 向	层 数	方 向
第 1 层	水平	第 3 层	水平
第 2 层	垂直	第 4 层	垂直

这样可以带来以下两点好处：

- 减少不同层间并行。
- 提供了水平和垂直布线途径。

很多自动布线软件不管是否必要，都采用交替层布线作为默认布线方法，然后再除去不必要的导通孔，导通孔会增加导线间所需的间距，但会缩短布线路径。

5.8.29 单面板布线

单面板布线最为困难，因为不可能使用导通孔或改变层数。元件摆放变得关键，考虑到布线的可能性，所有元件都必须有策略地摆放。如果没有足够的空间，或到某些区域和元件的引脚都没有可能的通路，就必须采用跨接线。

在决定设计单面板之前，跨接线花费的装配时间与采用两面板的额外成本应该被考虑进去。在很多情况下，成本是关键因素，所以必须采用单面板。

5.8.30 弯线或斜线布线

弯线或斜线采用 90° 弯角。传统上，必须采用弯线，因为材料会沿 X 轴和 Y 轴伸展，造成导线的断裂。

伸展和膨胀依赖于材料属性以及是否存在适当的湿度控制。随着当今高科技材料的采用以及更好的材料存储标准，伸展和膨胀变得很少，但是其效果正比于导线宽度。就像一根绳子被拉伸，同样材料的粗绳子总是比细绳子能承受更大的力量。因此，膨胀对宽度大于 0.006 英寸的导线所产生影响极小；但是宽度小于 0.006 英寸导线就容易受材料变化的影响。即使设计者只用粗导线设计印制板，斜线也是防止蚀刻汇集和确保整个设计中间距保持一致性的行之有效的方法。

蚀刻汇集是发生在制造过程中，使用化学蚀刻剂时出现的一种不利情况。高科技蚀刻过程基本消除了这一问题。带有 90° 弯角的导线可以汇集蚀刻剂。蚀刻剂会不断腐蚀铜，导致弯角处的导线更窄。

弯线和斜线带来的空间特性使得导线沿印制板对角分割，这样可以节省更多的空间或者更好利用已有空间。

设计中的很多措施对于低工艺水平板来说是不必要的，但是对于那些需要这些措施的设计来说却是好的措施。如果在所有设计中运用同样的规则，那么设计者在设计高工艺水平印制板时就会有比较好的处理方法，同时也可以减少学习曲线(指在要求掌握的时间期限内，学会某种技术的进程图)。

根据原则和应用来选择弯角的长度和间距(如图 5.24 所示)。最简单的办法是在第一可能的时刻启动弯线，这样当弯线与下面其他线接近时，可以减少所需空间(在某些例子中)，如图 5.25 所示。

这些都取决于应用和可用空间。高密度组装板比低密度组装板有更密集、更小的弯线。在高频设计中，需要考虑诸如长度缩短和噪声间距等因素。斜线则基于导线宽度和网格间距。在很多时候，所使用的网格间距是基于导线宽度的，以下是好的经验：

- 对于 0.012 英寸的导线为 0.025 英寸弯线。
- 对于 0.014～0.024 英寸的导线为 0.050 英寸弯线。
- 对于 0.025～0.049 英寸的导线为 0.100 英寸弯线。

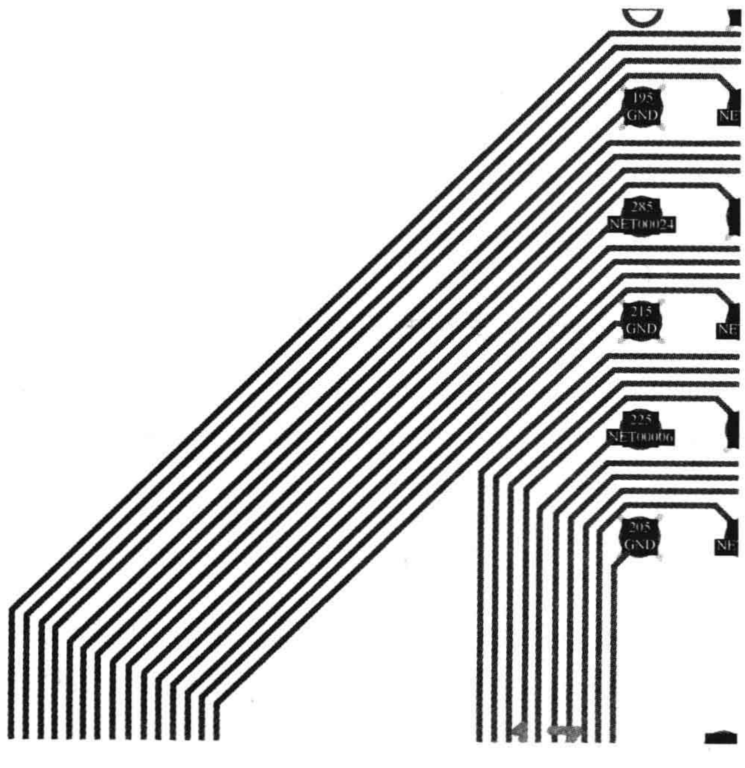


图 5.24　密集弯曲（45°）布线

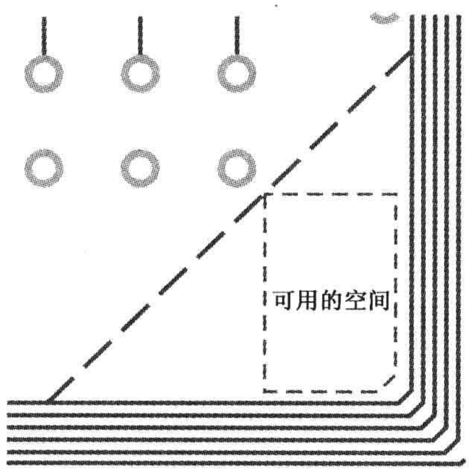


图 5.25 设定长度弯曲（90°）布线

5.8.31 总线布线

很多设计有一组有相似起始点和结束点的连接，它们构成总线。在原理图中常用的线并不总是与在印制板中的线相同。原理图的总线通常总是从单一元件到一个元件，或者相反，如处于同一区域的继电器或几个电阻，这些连接汇集在一区，形成总线。很多时候总线是一条通用信号或一条具有通用类型的信号。大多数总线布满印制板。于是既有相同的源点，又有相同的终点，还有相同形式的线，就构成了总线。

首先对敏感和受保护的信号进行布线，然后是总线。这是由于总线包括一定数量的线，并且需要创建已知数目的线。甚至其他的非同组或同区域的线，也被包括到总线里以便产生清晰的路径。

必须在总线使用中注意，并行线会产生串扰。

5.8.32 噪声、RF、EMF、串扰和并行线

信号类型，线长和间距之间的关系并没有明确的指标。弱电压或低电压信号容易被串扰，带有很多尖峰信号和高频信号的噪声线会把噪声注入到看上去不易感应噪声的并行线上。这种事件称之为饱和。

- 改变门或部件

如果生成一张原理图以帮助创建印制板，用印制板的变化更新原理图就变得非常关键。印制板图所做的任何变化都应该回馈给原理图。大多数软件允许所谓的“门互换”，即允许有同样部件和门的元件互相交换，以便更平滑和更容易地布线。

5.8.33 元件摆放和布线的相互影响

外形重于功能，还是功能重于外形？确定可用的空间，固定的摆放元件，以及电气和布线要求决定了印制板的复杂程度。不考虑间距要求，电气要求是控制因素。电路的设计确定电流和电压这两个控制导线和间距的因素。使用导通孔元件还是表面贴装元件应根据印制板和外壳（如果用的话）的可用空间来决定。各种因素中最值得考虑的和会产生最大影响的就是价格。

如电位器、显示器、连接器以及安装孔和间隙区等已确定的元件被放置在必需的位置上。

附加标志

- ESD 图符
- 高压警告

对于那些容易被静电放电或物理接触放电而损坏元件的印制板，使用 ESD 标签是常用措施[电子静电放电协会（ESDA）的网址 http：//www.esda.org 上有更多的信息]。高压警告标签也是很好的措施，在某些情况下（规范和测试规范）是必要的。

在初始化布线完成，元件固定的情况下，执行设计规则检查 DRC，可以验证电路的电气要求是否满足。

- 运行 DRC 设计规则检查以确保满足间隙要求

在优化设计之前，确保满足所有的规则和属性是很好的措施。可以在印制板中使用原理图所使用的相同工具。在大多数软件中，用户都可以根据开始定义的设置、属性和连接使用 DRC 对设计进行检查。如果没有规定明确的数据，那么程序无法检查，因此规定所需的属性是非常重要的。基本的属性如下：

- 导线间隙（根据设计而定，网络类别，类别到类别）
- 导线宽度（根据设计而定，网络类别，类别到类别）
- 印制板边缘
- 元件间隙

如果有大量的错误，则建议应仔细检查并且按属性类别一次次排除缺陷。

- 重新定位参考标识符到它们正确的位置/方位

当元件的正确位置被确定，大多数事情都已各就各位，接下来就应该考虑参考标识符（Ref Des）的位置。有时元件的位置由参考标识符所需的空间来决定。另外，当标识符不是

很关键时，它们的位置被留到后面考虑甚至干脆不标识。至少标识符应该放置在元件之下（或元件之上），并在装配图中使用。一般来说，在显示标识时使用一种“全部或无”的办法。如果内含印制板的机器随机附带有故障排查手册，印制板的外形和带有显示标识的元件是确定元件位置的唯一来源，这种做法是可以接受的。参考标识位置的更多信息参见第 8 章。

- 对参考标识符进行重新标签和编号

根据应用对参考标识符进行重新标签和编号。大力推荐检修率高的印制板需要重新编号，这样元件有一个逻辑顺序，所以元件定位变得容易。

重新编号的工业标准是从左上角到右下角。这就相当于从一本书中读一页，并提供逻辑性和同一性。实际并不总是这种情况，在某些应用中也许会完全不同。

两面板会产生更多的问题。推荐的做法是，如果所有的标志都在顶面，就看做是所有的元件都在顶面。如果在底面有标志和元件，那么应该被单独对待，并且根据读入时印制板的方向从左上角进行重新编号。

建立制造图

- 复制边框来绘制层或包含边框层
- 用 x 和 y 坐标来量出印制板尺寸
- 孔至边缘尺寸（主要用于加载 Gerber 文件和钻孔文件时验证定位）
- 误差在±0.005 英寸以下的任何剪切块的尺寸和误差
- 印制板层叠，包括：
  - 层号
  - 层类型
  - 层厚度
  - 层公差
  - 铜层类型
  - 每层最小导线宽度和间距（仅特殊情况）
  - 整块板厚度
  - 整块板公差（常规为±10%）

5.8.34 材料层叠

在设计过程的结束阶段，层数目已经被确定。因此这些数据应该被标明并且应该在制造图上有剖面图。第 2 章详细讲述了用铜和电介质厚度展示印制板的剖面图。

- 钻孔图注，包括：
  - 完成孔尺寸
  - 孔类型（电镀或非电镀）
  - 孔公差（小于 0.080 英寸的孔±0.003 英寸；大于 0.080 英寸的孔±0.005 英寸；根据工艺变化而定）
  - 图例（与制造图或 Gerber 输出文件相关）
- 加载或者规定制造注释，包括：
  - 要遵循的指南和规范，除非特别另有注明（PC 级别〔质量〕和单面板/两面板或多层板的类型）
  - 所使用的材料（芯材和预浸材料）
- 每张表都需要确定铜层厚度吗？
- 最小导线宽度和公差（一般为±0.003 英寸，严格的为±0.001 英寸）
- 最小间隙和公差（一般为±0.003 英寸，严格的为±0.001 英寸）
- 同一张表上的电镀（更多电镀，更多孔电镀，增加制造商孔环）
- 最小 0.0002 英寸的孔电镀（通常外部电镀）
- 完成类型：HASL 或锡引脚（检查是否可用）
- 孔至焊盘定位（不允许折断）
- 其他层到第一层定位（±0.002 英寸）
- 整体比例公差（每英寸为±0.002 英寸，整体为±0.005 英寸）
- 印制板尺寸公差（±0.005 英寸）
- 槽公差（±0.003～±0.005 英寸）
- 斜角（如需要）
- 电气测试和官方测试结果单。如果需要可只经过 P.O.或样机。按照 100V 进行测试，每英寸阻抗应小于 5Ω。
- 一个或更多的制造标记如下（通常放置在底面上）：
  - 柜号（一般由军方合同使用）
  - 公司标识（用来识别需要在后期购买的附加部件）
  - 日期号（关于印制板历史）
  - 签号（关于故障排除）
  - 电气测试验证标记
- 扭转和弯曲数据（0.010 英寸规定，0.007 英寸紧密）
- 试样或孔壁质量的 X 射线检查（一块印制板最重要的品质之一）
- 其他

正如第 2 章所标明的，制造图应少于两页，包含以下内容：

- 包含印制板所有轮廓尺寸以及印制板边缘位置的一个孔。这将有助于用印制板里的孔对齐印制板边缘，并且有助于印制板尺寸的检查。
- 制造注释——规定制造商要遵循的标准，并规定其他标准之上的属性，以及那些标准没有确定的属性。
- 有整体厚度和公差的材料层叠——必须确定整体厚度。如果不特殊规定，制造商会根据他们的判断来确定层和材料厚度。如果不关心层厚度，那么这就成为可选项。
- 带有公差数据的钻孔表和印制板轮廓内的钻孔图符——这有助于制造商检查钻孔尺寸是否正确以及是否符合设计者的要求。不同的钻孔范围，公差也不同。

这些信息的大多数不是必要的，但是提供了所推荐的额外信息。这些信息中的大多数，如钻孔和印制板信息，用于弥补设计者和制造商所使用的软件不一致。作者极为推荐在设计中提供这些信息，但是也可以用简单的注释来代替，注释指示制造商使用他们自己的标准或是遵循所提供钻孔和 Gerber 数据。IPC 也指定了一些公差和断裂数据，这些数据可以降低对钻孔公差的要求。

一些制造商提供“依照原样”服务，认为钻孔图符和尺寸是冗余信息，并可提供快速的回报以及更廉价的含有较小信息的印制板。

文件证明

- 图张/图张数
- 加载或增加以下确定的信息块（此信息会一直保留在印制板上直到从制板上被移去）：
  - 公司名
  - 公司电话
  - 层名
  - 层数
  - 部件号
  - 修订版
  - 图张号

应用公司特定信息

- 在第 1 页增加图张修订块（制造图）
- 增加图张修订部分（边缘信息）
- 更新如下的设计信息：
  - 日期（文件每次修改、变更、完成时更新）

- 设计者（设计者名称）
- 工程师（电气工程师或原理图设计者）
- 审查者（由 QC、工程师姓名、终审）

检查绘图（非必须）

- 打印每层的 w/o 边，定下比例
- 检查以下项目：
  - 层号
  - 资料
  - ESD 符号
  - HV 标注
  - 定位
  - 第一引脚标识
  - 安装孔位置
  - 印制板尺寸和间隙
  - 机械支撑
  - 硬件间隙
  - 层叠厚度

核定

- 工程师对印制板的核定
- 实施某些删减
- 再次从原理图生成网络表
- 再次运行 DRC 和网络表比较

输出

- 设置 Gerber 输出文件或设置数据库输出
- 输出下列信息（在 274-X 文件中）：
  - 所有单独的各层
  - 所需的网印层
  - 单独的顶部和底部阻焊层
  - 有符号的制造图
  - 钻孔文件（ASCII 格式，超级压缩）
- 用 CAM/CAD 加载 Gerber 文件并检查与原始设计是否一致

5.9 指定制造商应做的和不应做的

除了对制造过程进行补充，如考虑到内腐蚀而增加导线宽度，制造商不应更改文件内容。如果发生以下情况，制造商应与设计者联系：

- 印制板不满足制造要求。
- 完成印制板不满足 IPC（或其他标准）规范关于产品的要求。
- 印制板不满足制造图规范的要求。
- 印制板不能根据制造图规范来构建。

5.10 文件存档

- 在印制板收到并且测试完成后进行。
- 将文件放到严格规定的地方并改变文件特征为使用。
- 如果需要发生改变，改变修订并且用修订描述符按序号启动一个新文件。

5.11 模 板

模板汇集了一直使用的物品的外形和位置。模板通常包括印制板的尺寸、形状和连接器位置等信息。生成有很多不同的模板(例如，元件模板、机械物品、文本和标题块)。模板文件将所有那些必需的物品组合到一个启动包中。从模板进行保存的时间很长。用好的通用模板可以减少设计过程中的很多步骤。

以下是一个模板中可能包括的 PCB 的一般元素：

- 印制板尺寸和形状。
- 印制板层叠。
- 顶层装配。
- 底层装配。
- 覆盖层。通常容纳放于印制板顶部、外壳中的物品或其他需要解释的物品。有可能会有不止一个覆盖层。

在一块印制板上，有很多不同的物品可供选择，因此削减其中的一些物品类型，减少可供选择的类型数目就变得非常必要。对每项工作都一致的模板(软件规范)中所包括的任何物品都应该被包含进来。为保持一致，确保要包括几乎每一次都使用的物品。如果在这

个问题上有所疏忽，就会在元件被更换时出现问题。

5.12 小　结

设计过程需要多种信息，如成本、外壳尺寸（应用不同）、装配以及维护要求等。如果这些方面有一处被疏忽，印制板的成本就会超支；或者必须重新设计印制板以满足所有的要求。

采用一个设计过程有助于涵盖大多数信息和要求，同时可以跟踪那些已经完成的任务，包括软件要求和特征。

表面上看来，像焊盘和导线尺寸这样的简单项目在某些情况下很关键，但是这些基础知识是非常重要的，所以设计者可以根据设计要求来利用这些知识。

了解工艺以及它与成本的关系在确定所设计产品的价格时很重要。了解工艺限制也非常重要，只有如此，设计的产品才有可能被保持在期望的价格范围内，印制板才能根据实际的数据来设计，才有可能被制造。

本章只涵盖了印制板设计的机械、电子以及制造要求等方面的知识。至于 EMF、RF、温度辐射、元件敏感以及高科技电路要求等方面的内容，足以另写一本书了，很多其他著作也对这些内容有所论述。

第 6 章　元件库、元件及数据表

本章将讲述实际意义上的元件，以及它们与数据表和 PCB 设计软件之间的关系，并阐述如何用软件来表示这些元件。这些元件保存在软件的元件库里，这样在设计过程中可以对其进行放置和连接操作，并且允许设计者在设计实践中自由创新。本章在以下几方面对设计者有所帮助。

- 选择、了解以及创建元件标准。
- 了解符号的含义。
- 了解元件的图样或覆盖面积。
- 组合符号与图样。
- 阅读及理解数据表。

6.1　了 解 元 件

行业中使用的很多术语看上去都很类似，但是在不同情况下，这些术语有不同的定义。元件既包括软件意义上的元件也包括实际意义上的元件。实际意义上的元件就是一组电阻、电容和集成电路芯片等，而软件意义上的元件则与元件库中的某一对象相关，这一对象可能是电阻、电容，或仅仅是表示电源、导线或单个孔的符号。软件意义上的元件由实际意义上的元件的覆盖面积以及原理图符号组成，可能是三维视图。

元件的两部分

元件的两部分是指符号和图样。原理图就是用标准符号、符号功能图或元件引脚功能图对元件实际部分表示的一种方法。如果元件包括多个相同部分，或者由两个及两个以上的独立部分组成，这样的元件就会有几个独立符号，这些符号通常被称为门。门通常是表示放大器、缓冲器、逻辑功能的符号，但是这一术语也有多重含义。在 PCB 布局软件中，门的定义是：表示元件一部分的单个或一组符号。

一个很好的例子是 7400 与非门集成电路芯片。该芯片共有 14 个引脚，包括四个门电路，每个门有三个引脚，以及两个电源引脚。一个引脚接电源，另一个引脚接地或接负电压，如图 6.6 所示。每一比较器都被分解为一个门。电源和地可以组成一个独立的门或者作为一个电源引脚连接到电源上（电源引脚需要原理图上的一张表或说明描述其连接）。

另一个例子是继电器。继电器通常被分为两个以上的部分，第一部分是线圈，第二部分是触点。继电器可能有几组触点，可以成组显示，也可以单独显示。图 6.1 清楚地显示了继电器的两个分离的组：线圈和触点。这个继电器有两组触点，因为它们存在机械上的联系，并且它们的状态(动合触点和动分触点)也会同时发生变化，所以将这些触点表示在一起。连接两组触点活动臂的虚线表示机械联系。

一般来说，元件应该被合理地分为几个最小部分，并且构成模块，这样这几个部分可以表示在一起，而且看上去是同一个整体。另一方面，元件既可以表示为单独的对象和标记，也可以表示为页面连接器或区段连线到另一张图或区段。如图 6.2 所示。

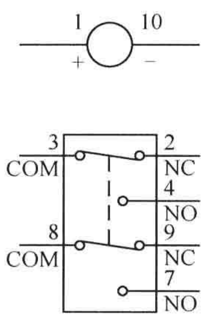


图 6.1　继电器

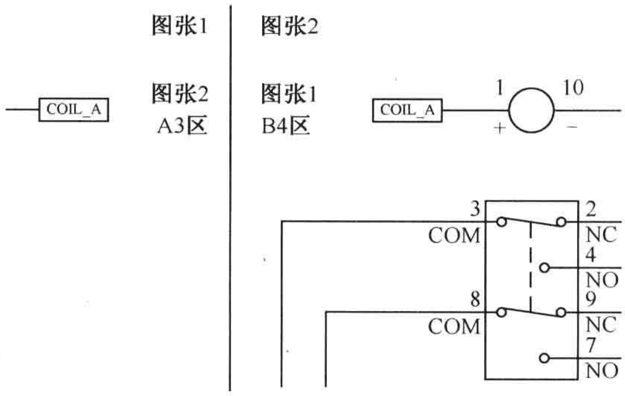


图 6.2　使用页面连接器的一个元件

注意： 为了使设计者能够选择显示的形式，元件既能单独以名称列出，也能以类型列出。这样会增加元件库的规模和复杂性。

软件使不同视图变得更复杂。一些软件不允许替换元件的名称或标题，只能使用元件的保存名称。这样用户就无法提供对元件的简短描述。

在显示元件名称和类型区时，通常要避免与实际名称相混淆。因此，类型不同、名称相同的元件必须保存在不同的元件库里。比较理想的软件应该允许元件在一个元件名称下有不同的符号和图形。图 6.3 给出了同一个元件的三种不同表示方式。

- 符号块图，由用引脚表示功能的几个符号组成。
- 门图，将每个门电路作为一个单独的部分分别显示。
- 第 3 个图一次只显示元件的一个门。

至于实际使用哪种类型的原理图，并不只是由原理图和 PCB 设计者单独做出决定，工程师、电路设计者、公司的政策都对此产生影响(参见第 4 章)。

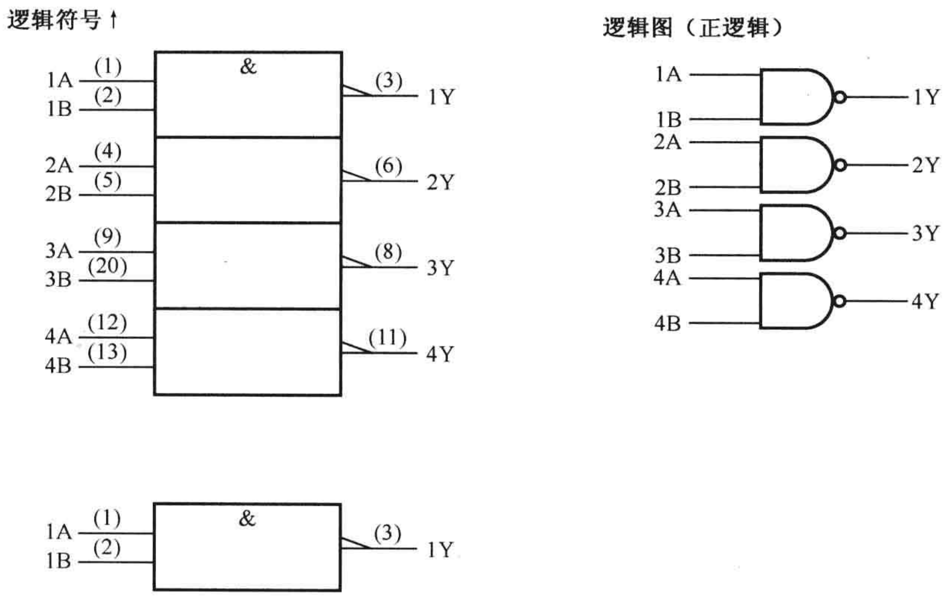


图 6.3 带有 4 个门电路的元件（7400 与非门）

6.2 元件的一致性

由于已创建和设计的元件所使用的标准和测量系统与设计者所使用的系统并不一致，这就加大了 PCB 设计的难度。

6.2.1 元件标准

有好几种类型的元件封装、覆盖面积（footprint）以及标准。以下的大多数信息都基于 IPC-SM-782 及其最新版本，大多数元件覆盖面积都已采用行业接受的方案和标准。所有的元件覆盖面积有来自已有符合标准的封装类型又有非标准封装的。

6.2.2 常用元件缩略语

- SMT——表面贴装技术。
- SMD——表面贴装设计。
- JEDEC——联合电子设备工程委员会命名标准。
- SOIC——小外形（SO）封装的集成电路。
- SO#——小外形、多引脚。有几种分类方式，请参考元件数据表。
- ASIC——专用集成电路。

6.3　元件符号类型

有几种格式的符号可供使用，经常用到的两种是块式符号和分立式符号。块式符号就是表示整个元件的符号（如图 6.4 所示）。

注意：一个门通常指逻辑类型元件的一部分。这个术语也通常被用来定义元件的一部分。

其他类型（或门类型，如图 6.5 所示）只表示元件的一部分。在一些例子里，门电路被转而用做平滑布线的最佳位置引脚（第 4 章涉及这方面的内容）。

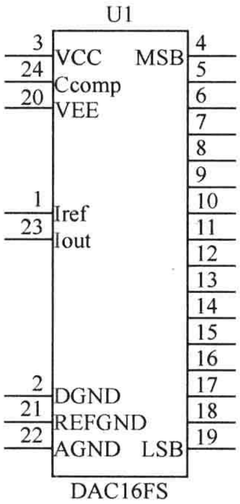


图 6.4　块式符号

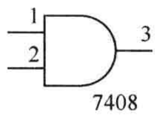


图 6.5　简单的分散式门

什么情况下使用门电路或页面连接器呢？逻辑元件有时被分成几个独立部分以显示逻辑功能。其他元件被分成独立的部分，并根据功能要求被放置在不同的图张上。在这种情况下，页面连接器（口）是有用的，但是在故障诊断时，有时会出现混乱。

典型的例子是继电器。继电器被分成两个确定的部分：线圈和触点。原理图可能包括控制部分和动力部分。控制部分显示逻辑的控制和继电器的线圈；动力部分显示大电流和开关回路以及继电器的触点。连接器很容易被分成几个部分（通常是独立的引脚），这就使得连接器可以分配成不同页里的组。

元件通常以不止一种格式保存。当以零件号保存元件且软件中只允许每个元件为一种类型时，就很难以多种格式保存元件。可选的办法是使用两个不同的库，一个用于所有的块式连接器；另一个用于所有门（分散）式连接器。例如：

- Connector_blk
- Connector_dis

6.4 库命名惯例

表面贴装元件通常以覆盖面积的名称来显示覆盖面积的类型。当选择的元件或零件序号/覆盖面积在零件表中可识别时，这种对应关系是严格的。字面上有几百个覆盖面积和封装类型，覆盖面积与封装类型并不等同。

表 6.1 为不支持多封装形式程序的库命名分类表。

表 6.1 库命名分类表

	使　用	例　子
在 PCB 和原理图上，元件名都不与元件一同显示	使用后缀来表示封装以及符号类型	7404_SM_Dis，表示表面贴装和多种符号
在 PCB 和原理图上，元件名与元件一同显示	对于每一组合使用单独的库	Logic_SM Logic_Dis Logic_SM_Dis

用于不支持多种符号/图形类型的程序。

6.5 普通元件与特定元件

很多元件，特别是像电阻和电容这样的分离元件，太一般化、数量太大，不可能每种都设定一个基本元件零件号。因此，必须创建一种基本图样和类型。将要贴装到 PCB 上的任一部分都必须有一个图样名称，像 SMT IC。PLCC、SMD、PGA 涵盖了元件可能参考的所有标准封装。制造商和电子公司应该定义与所有元件密切相关的标准图样。如果能做到这一点，设计者就可以创建零件序号图的分类。表 6.2 和表 6.3 用一个常用图来表示离散元件。

表 6.2 带有径向引脚的无极性电容焊盘图，引脚间距为 0.2 英寸，引脚直径为 0.03 英寸

电　容	径向/轴向	极性/非极性	引 脚 间 距	引脚直径（可选）
C	R（径向）	N（非极性）	200	L030

表 6.3 带有轴向引脚的电阻焊盘图，引脚间距为 0.05 英寸，引脚直径为 0.03 英寸，功率为 0.025W

电　阻	径向/轴向	引 脚 间 距	引 脚 直 径	功率（可选）
R	A（轴向）	500	L030	W025

一般来说，功率相同的电阻有着相同的引脚直径，电压相同的电容有着相同的引脚直径。但实际情况并不总是如此，所以应该每次都检查引脚直径，并将引脚直径添加到原理图里。

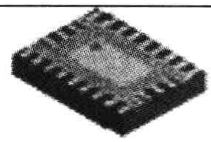
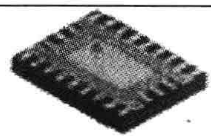
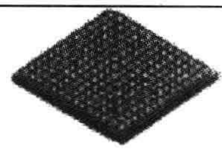
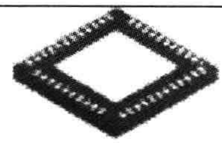
6.6　解读数据表和制造商标准——SMD

不管是否能够得到元件实物，获得元件的数据表是必要的（即使对于机械零件也是如此）。因为数据表提供了有关元件各类数据的足够信息。有时，尤其是对于机械零件，如果得不到数据表，就只能手工创建零件的符号和特性。

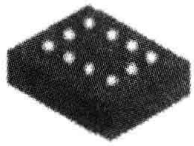
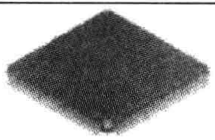
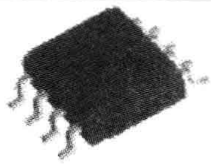
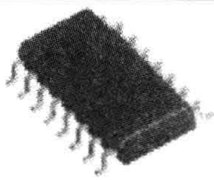
首次接触，工程师应该将所有使用的数据表存档，并放在中心位置以供其他需要这些信息的工程师查阅。数据表应该保存在工程师、PCB 设计师，以及任何与项目有关的人可以获得的地方。这是节约时间和提高生产率的重要步骤。

很多制造商在数据手册里使用缩略语和扩展零件序号，并使用零件序号来标明此零件的特定属性。这对于标明这些元件并将它们保存在相同种类的记录和参考手册里很重要。表 6.4 是常用封装类型及其外形的汇集。

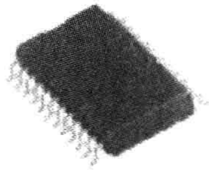
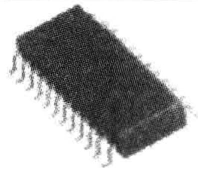
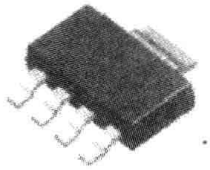
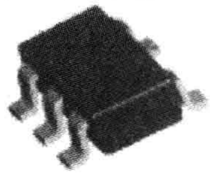
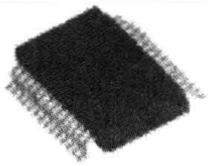
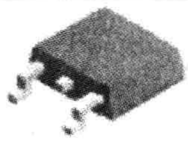
表 6.4　标准元件封装表（塑料封装）

封装名称	引脚数目	图
EBGA	352	
LAMINATE CSP	16，24，28，48，128	
LAMINATE TCSP	20，24	
LAMINATE UCSP	24	
LBGA	160，196	
LLP	6，8，10，14，16，24，28，32，44	
LQFP	32，44，48，52，64，80，100，144，176	

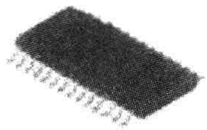
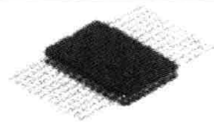
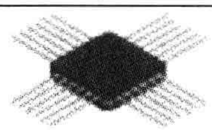
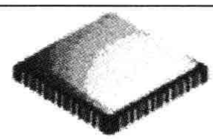
（续表）

封装名称	引脚数目	图
MDIP	8，14，16，18，20，24，28，40，48	
METAL QUAD	208	
MICROSMD	4，5，6，8，9，10，14，20	
MINI SOIC	8，10	
PBGA	352	
PLCC	20，28，44，68，84	
PQFP	44，64，80，100，128，132，160，208	
PSOP	8	
SC-70	5，6	
SOIC NARROW	8，14，16	

（续表）

封装名称	引脚数目	图
SOIC WIDE	14，16，20，24，28	
SOP EIAJ TYPE II	24	
SOT–223	4，5	
SOT–23	3，5，6	
SSOP	16，48	
SSOP–EIAJ	20，28	
TO 220	3，5，7，9，11，15	
TO 252	3	
TO 263	3，5，7，9，11	

（续表）

封装名称	引脚数目	图
TO 92	3	
TQFP	48，64，80，100	
TSSOP	14，16，20，24，28，48，56	
TSSOP EXP PAD	20，28	
CERDIP	8，16，18，20，24，28	
CERPACK	10，14，16，20，24，28，48	
CERQUAD	24	
CQJB	44	
CSOP	20，28	
LCC	20，28，48	
METAL QUAD	208	
SIDEBRAZE	8，14，16，20，24，28，40	
TO-3	2，3，4	
TO-39	3	
TO-4	4	
TO-46	2，3，4	
TO-5	6，8，10	

6.6.1　制造商提供的封装形式

设计者应该保留一份包括制造商特别说明的元件术语和零件扩展(参见表 6.5)的文档，可能的话，再保留一张包括常用引脚名称和类型的表(参见表 6.6)。

并非所有的零件都是集成电路芯片，元件的主要组成是电阻、电容、机械零件，以及 PCB 设计中相关的一些零件。集成电路芯片是最难创建的元件，所以我们主要介绍这一部分。

表 6.5　制造商提供的封装表

封装名称	国家半导体公司	德州仪器公司	模拟设备公司	摩托罗拉公司	其　他
Metal leaded chip carrier，J bend	AA				
MQUAD	AW，MO				
MicroSMD	BP				
SIP	CA，C				
Sidebrazed，hermetic dip (metal seal)	DH，D，DA				
Leadless chip carrier (LCC)	EA，E				
Leaded hermetic quad packages	EL				
Ceramic flat pack (solder seal)	FA，F				
Dual leadless leadframe package (LLP)	LD				
Quad leadless leadframe package (LLP)	LQ				
Metal can，TO-5/39/46	HA，H				
CDIP	JA，J				
Metal can，steel TO-3	KA，K，KC，KS				
SO narrow	MA，M				
TSOP	MB，MBH，MBS，MDA，MDB				
SSOP (300 Mil wide)	ME				
SOT23	MF，M3，M5				
SC70	MG，M7				
TSSOP exposed pad	MH，MXA				
SOIC-mini	MM				
SOT223	MP				
SSOP (150Mil wide)	MQ，MS，MSA，MSC，MQA，MEB，MEC，MED				
SSOP-EIAJ types II and III	MS				

（续表）

封装名称	国家半导体公司	德州仪器公司	模拟设备公司	摩托罗拉公司	其他
TSSOP（4.4mm and 6.1mm wide）	MT				
SO wide	MW，WM				
MDIP	NA，N				
LTCC with castilations	SA				
LTCC with solder balls	SB				
LTCC with clip-on leads	SC				
LTCC with land contacts	SD				
Laminate CSP w/land area contacts	SL，SLB				
FBGA（flex BGA）	SM，SLC				
TO220	TA，T				
TO202	TB，P，PA				
TO-252（DPAK）	TD，DT				
TO220.ISO	TF				

表 6.6 制造商提供的引脚类型

封装类型	德州仪器公司	摩托罗拉公司	国家半导体公司	仙童公司	其他
输入引脚	A				
输出引脚	Y				
正电源	$+V_{CC}$				
负电源	$-V_{CC}$				
接地引脚	GND				

6.6.2 数据表

为了方便起见，我们用最常见的元件之一作为例子来解读数据表。7400 是四与非门芯片，其数据表如图 6.6 和图 6.7 所示。

数据表中的图和表示法提供了如下信息：

- 封装类型
- 引脚数目
- 引脚 1 位置
- 引脚编号布局
- 原理图符号选择
- 电源引脚

- 推荐电压
- 运行温度

注意：前面部分的信息与 PCB 布局和原理图设计有关，其他信息则是电路设计和工程所需要的。

- 可选择的封装形式有：塑料小外形封装、陶瓷芯片载体封装、陶瓷芯片扁平封装，以及塑料和陶瓷双列直插封装
- 德州仪器公司的产品质量和可靠性值得信赖

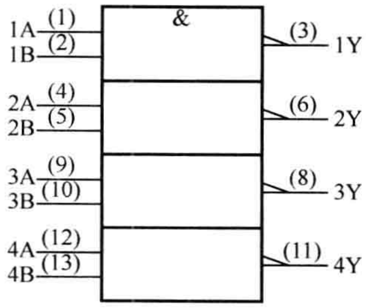
描述：

此芯片包括4个独立的2输入的与非门。
SN5400、SN54LS00、SN54S00为运行温度为-55℃～125℃的军品芯片
SN7400、SN74LS00、SN74S00为运行温度为0℃～70℃的民品芯片

功能表（与非门）

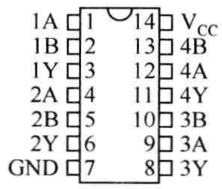
输入		输出
A	B	Y
H	H	L
L	X	H
X	L	H

逻辑符号†



† 此符号符合ANSI/IEEE 91-1984及IEC 617-12标准
引脚编号如D、J、N封装所示

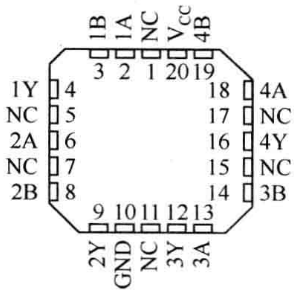
SN5400…J封装
SN54LS00、SN54S00…J或W封装
SN7400…N封闭
SN74LS00、SN74S00…D或N封装
（顶视图）



SN5400…W封装
（顶视图）

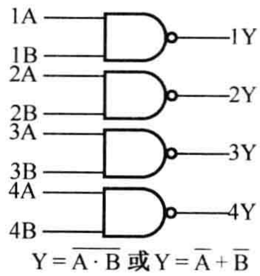


SN54LS00、SN54S00…FK封装
（顶视图）



NC——无内部连接

逻辑图（正逻辑）



$Y=\overline{A\cdot B}$ 或 $Y=\overline{A}+\overline{B}$

图 6.6　7400 四与非门芯片——第 1 页

推荐运行条件表

	SN5400			SN7400			单位
	最小	正常	最大	最小	正常	最大	
V_{CC} 电源电压	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V_{IH} 输入电压高限	2			2			V
V_{IL} 输入电压低限			0.8			0.8	V
I_{OH} 输出电流高限			−0.4			−0.4	mA
I_{OL} 输出电流低限			16			16	mA
T_A 运行气温	−55		125	0		70	℃

推荐气温条范围内的电气特性表

参数	测试条件①	SN5400			SN7400			单位
		最小	典型②	最大	最小	典型②	最大	
V_{IK}	V_{CC} = MIN，I_I = −12mA			−1.5			−1.5	V
V_{OH}	V_{CC} = MIN，V_{IL} = 0.8V，I_{OH} = −0.4mA	2.4	3.4		2.4	3.4		V
V_{OL}	V_{CC} = MIN，V_{IH} = 2V，I_{OL} = 16mA		0.2	0.4		0.2	0.4	V
I_I	V_{CC} = MAX，V_I = 5.5V			1			1	mA
I_{IH}	V_{CC} = MAX，V_I = 2.4V			40			40	μA
I_{IL}	V_{CC} = MAX，V_I = 0.4V			−1.6			−1.6	mA
I_{OS}③	V_{CC} = MAX	−20		−55	−18		−55	mA
I_{CCH}	V_{CC} = MAX，V_I = 0V		4	8		4	8	mA
I_{CCL}	V_{CC} = MAX，VI = 4.5V		12	22		12	22	mA

① 最大最小测试条件，使用推荐运行条件下的确定数据。

② 所有典型数据都是在 V_{CC} = 5V，T_A = 25℃的条件下获得的。

③ 芯片最多只允许一个输出短路。

转换特性表（V_{CC} = 5V，T_A = 25℃）

参数	从输入	至输出	测试条件	最小	典型	最大	单位
t_{PLH}	A 或 B	Y	R_L = 400Ω，C_L = 15pF		11	22	ns
t_{PHL}					7	15	ns

图 6.7　7400 四与非门芯片——第 2 页

要根据能够获得的封装来选择芯片的封装，为了方便，我们选用DIP（双列直插）封装（参见图 6.7 和图 6.8）。

• 可选择的封装形式有：塑料小外形封装、陶瓷芯片载体封装、陶瓷芯片扁平封装，以及塑料和陶瓷双列直插封装

图 6.8　数据表的封装摘录

选择了芯片封装之后，参考制造商的注释，确定相关的引脚和图形。对于这个例子，选用 N 型封装。

图 6.9 说明该封装是 14 引脚的双列直插封装。常用双列直插封装的引脚间距是引脚间为 0.1 英寸，行间为 0.3 英寸。这些信息由制造商关于此封装的高级文档提供，用户原理图绘图软件里也应该有此封装。

像输入输出命名这些条款对于每个制造商的元件应该是通用的，但是并非工业标准(参见表 6.6)。

N型封装采用了一个凹口来标明常规集成电路的引脚 1，并且在和引脚名称的结合处显示引脚序号。



图 6.9　数据表 2 的封装摘录

符号可能也有几种不同格式，实际使用的符号没有必要一定与数据表保持一致。符号的配置可以遵从标准也可由设计者自行决定。本章后面将讨论符号的选择。

6.7　绘 制 元 件

很多公司聘用一个技师来绘制元件。通常这个人称为资料管理员，职责是创建元件、维护命名习惯和实际外形的标准。资料管理员不必创建所有的元件，但协调和模板创建一般都是他的职责。元件的各个方面都必须标准化，以保证平稳和协调一致的绘图。需要特别控制的内容包括符号尺寸、符号/元件字体尺寸，以及网格引脚间距。

6.8　同一元件的多个方面

元件可以用不止一种方式来表示，有可选的方式来显示图样(例如，焊盘图样)，图样需要根据应用进行不同配置。此外，这些图样可以通过软件来处理。库零件一般可以用图样名称来标注，也可以用带有封装扩展的制造商零件序号来标注。

未来的软件可以用基本序号来标注零件，设计者也可以从多个焊盘图样中进行选择。

6.8.1　图样

首先列出图样是因为它们是创建一个元件的主要部分。图样表示了实际元件和所使用的引脚数目，以及图样中所包含的选件，像集成电路芯片的封装尺寸以及电阻的备用图样。图样也可以容纳同一元件的几种类型，但是应该使用普通的图样名称。如果软件允许一个零件可以拥有多个图样，那么应该生成这些图样，这样每一类型的图样都可以单独定义和

命名。有特定名称和零件序号的元件很少有多个图样。对于那些非物理元件的常规零件，如孔、导线和机械物体可以进行不同配置的成组，多图样零件是很平常的。多图样零件可能有：

- 装配支架
- 热槽
- 跨接线孔
- 贴装孔
- 插座
- 布线点

6.8.2 符号

符号的创建仅次于图样的创建，因为需要处理元件的所有选件，像贴装孔和备用焊盘。不需要显示元件的所有引脚和孔。以下是少数不需要显示的选件：

- 接地的安装孔
- 电源引脚（$+V_{CC}$、$-V_{CC}$、接地等）
- 空引脚
- 接地引脚

仅仅在这种情况下，软件允许用类似的连接自动连接到网络上，或者在此之后进行连接。这些引脚有时称为电源引脚或不可见引脚。如果这些引脚不与其各自的门一同显示，那么它们应该在一张表中注明。在原理图中某处，应该注明所有引脚。这样就可以避免诊断和故障排除时出现混乱。

6.8.3 标记引脚 1

在进行故障排除和第一次安装时，引脚 1 的确认非常重要，这一点对于有极性元件尤其如此。有几种标记引脚 1 的方法：

- 设置引脚 1 为方形焊盘。
- 设置引脚 1 的焊盘为序号 1。
- 对于集成电路，在网印层角上有一个凹口，或者在集成电路的顶部有一个弧形凹口。

还有几种更有创意的方法，即使用以上几种方法的组合或全部，来确保清楚容易地找到引脚 1。选择哪种方法由故障排除、维修以及装配的需求决定。网印凹口以及方形焊盘主要是为了满足装配的要求。使用文本显然需要元件周围有更多的空间，但是这样可以更清晰地标明引脚 1。

6.8.4　命名元件

根据设计者和公司的需求，元件可以用实际的零件序号、零件序号的普通版本（例如，345-xxxx-D）或纯粹的普通描述来命名。这通常是针对一般元件，比如电阻和电容。只由一个制造商制造的元件则应该以制造商生产的零件序号来命名。

6.9　小　　结

本章阐述了元件的两个部分，这两部分之间的相互关系以及在原理图和 PCB 中如何使用它们。命名和显示的标准化是保证元件一致性的关键，使工程师能够将元件间的连接关系清楚地传达给设计者。元件的创建不仅要考虑元件实际的电气功能，也要考虑零件装配和维修印制板时的引脚识别。此外，当库里的元件成千上万时，元件的快速识别和选择变得很关键，这说明命名策略、文档编制，以及元件的分类也极其重要。

第 7 章　印制板的完成和检验

当从制造商处接收印制板时，应该对所有的板进行检验，包括批量生产的印制板。应该对样品或首批印制板进行全面检验，而对批量生产的印制板也应至少进行一项粗略检验。

制造商除了在每一个制作过程完成后要对印制板检验之外，应该立即对完工的印制板有一个质量检验过程以验证印制板的质量，但印制板是否符合规范应由购买者来验证。虽然许多方面是不能被验证的，例如印制板的材料和内部特性，但许多其他方面是可以也是应该验证的。

注意：本章很简略，但由于内容重要，本章是应该引起关注的。提供的信息应该用于每一块印制板上。附加的测试应依据应用、复杂性和要求来进行。

7.1　为何要检验

不是所有的规范都要求检测，但是历史证明几分钟的检验能避免几小时的故障查找和维修，省去制造者几小时的谈话，以及回收费用和装配费用。

进入印制板检验

- 目视检查印制板，注意清洁度和外表。
- 检查阻焊层，包括：
  - 指定的颜色
  - 指定的厚度
  - 质量
  - 污点
  - 蚀损斑
- 电镀是否足够？

电镀

电镀是否足够很难测量。电流的要求基于电镀的厚度，如果要求很严格，则电镀可能成为关键。最简单的方法是遮住一个焊盘前面或旁边的靠近印制板边缘的区域。未遮住的区域将作为控制点，因此当测得了焊盘高度/厚度，可用此值减去印制板厚度再乘以 2。以

上提供了一个测量铜/电镀/流焊组合的厚度的方法。不管电镀厚度如何，流焊应该是一致的。表 7.1 示出了理论上的测量值，在实际应用中还必须根据最终的厚度和规格加以修正。因为值很小且焊流的不规则性，此类测量很少使用。

- 孔是否在焊盘中心（成环形并对齐）?
- 孔尺寸是否正确?

表 7.1　0.062 英寸和 0.093 英寸板厚的电镀和焊流值测量

铜箔厚度（英寸）	电镀厚度（英寸）	焊流（英寸）	总和（英寸）	总和×2（英寸）	总和×2+0.062 板（英寸）	总和×2＋0.093 板（英寸）
0.0007	0.0014	0.003	0.0051	0.0102	0.0722	0.1032
0.0014	0.0014	0.003	0.0058	0.0116	0.0736	0.1046
0.0028	0.0014	0.003	0.0072	0.0144	0.0764	0.1074

完成后的孔环可以通过粗略的观察来检验，或用一个眼环，或者可以使用一种带嵌入尺寸和样本直径的放大镜来检验。完成后的孔环应不小于指定的孔环，或者说，完成后的孔环减去制造商 2A 孔环有足够的间隙。

孔壁质量很重要，但是很难检测和验证。在所有的多层印制板上，制造者应该实行截面测试。根据要求，制造者应该提供一个已做检测的证明或副本。可以用粗略的测试来检测连贯性。应使用万用表来测量从一张板上的 PLTH 到另一张板上的 PLTH 中间有电气连接的电阻。电阻应小于 1Ω+1Ω/英寸。应进行平面间的测试以验证无短路点或内部污染物。无元器件装配时此值应大于 100MΩ。

- 层是否对齐?

可以使用每层上明显的板内基准点来验证层是否对齐，包括阻焊层和网印层。在对齐过程中制造商可使用这些基准点。

- 进行黏附力检验。

在电镀/金上放置一片带子再拿开。如果电镀层或金被带子带走，电镀便不够。

- 外观是否满足生产底板要求?

验证文本和线的位置是否正确，以及所有的孔是否处于正确的位置（目视检查）。确定所有文本的厚度和线宽度正确，以及所有附加的标注是否是正确的。实际呈现出来的结果可能与在纸上显示的不一样，因此这样简单的检查可以确保结果如所期望的一样。在批量生产中，简单的制造错误（如漏掉装配孔）可能直到印制板被装配时才发现。检测是否正确的一个简单方法是在印制板上叠上一张 1∶1 的图纸。用一张胶片或打印清楚的格式也能检验尺寸是否正确。

- 网印是否满足生产底版要求？

线宽度、文本宽度、文本尺寸和方向都应满足工艺要求。对印制板的粗略查看应能检查出网印时是否满足要求（与打印出的或计算机显示出的图形一致）。

- 全部的印制板尺寸是否正确？

若未特别说明，制造者使用的印制板宽和高的公差是±0.005 英寸。这些信息需要和制造者确认，或在制造者的说明中应有类似如下的说明："若非特别说明，所有的公差应小于±0.005 英寸"。

- 印制板是否翘曲？

若没有特别理想的平面，可用一个平台或桌面来检查印制板是否平直。通常印制板在边界处可能会有小小的翘起。IPC 有测量弯曲度的标准测试，但在商业用途中粗略地测试便能提供足够的信息。弯曲的允许程度也要视应用而定。制造者要对生产和质量的花费予以考虑以决定允许的弯曲程度。材料的弯曲是由储存造成的，储存是消耗费用的。一些制造商将储存消耗视为较低的用户消耗。

- 印制板边缘上是否有铜？

如第 5 章中所讲，除非要求或必需，印制板上在板边缘应有铜间隙。这样做是为了在板上布线时消除对铜的短路和撕裂效果。

- 走线宽度公差

走线宽度是另一项比较难测量的项。可以目测，也可以通过一把普通量尺来测量走线宽度。走线宽度公差和边缘质量也应视应用而定，且不能总要求那么高。除非要达到很高的频率，否则走线粗糙并不十分重要。

- 对下列项进行电检查
  - 从前至后的若干电镀孔（小于 2Ω）
  - 从一端到另一端的最长的走线（小于每英寸 5Ω 或指定值）
  - 不同网络平面之间短路电阻（应被打开）
  - 测量焊盘最近处

节点或连接实质上是短路。电阻应该很小，每英寸 2Ω 或更小。加上导通孔和通孔电阻到走线的电阻，但质量不好的通孔则呈现出一个大得多的电阻，并且在温度升高时（装配时）会分裂而开路。导致这个结果的原因有如下几条：

- 钻孔后未很好地清洁——钻孔时，热量能导致钻过的孔中存留残渣，当孔被电镀时残渣可能导致镀层黏附不牢。
- 加压不好——加压过程中热量和压力不足会导致以后的分层。
- 过热——在其他的制造和装配过程中，印制板可能会经历过热过程。

无论原因是什么，结果通常是相同的：电镀孔的不良连接导致高电阻。如果呈现出高的电阻，规定的焊接热应该应用于焊盘，然后再重新测量电阻值。

7.2　小　　结

这一章讨论了对已完成印制板的基本检验。这一过程对初学者来说很重要，因为他们可以看到工作的结果和完成的设计的实际样本。为了下一次生产和下一次板的设计，设计者必须复查已完成的印制板，是否还有哪些方面需要处理。

印制板的检验看起来简单也不那么重要，但是印制板的制造商还是会发生错误，并且时常做出不合格的印制板。在印制板装配之前找出错误是很重要的。若考虑投入的时间和元器件，一张 100 美元的印制板装配后发现错误还要再花费几千元，所以发现第一张坏印制板时，花时间检查是很有必要的。

第8章　画 装 配 图

本章有意与第 3 章“面向装配的设计”分开，是为了使设计者初步了解印制板是如何装配，以及印制板应是如何设计的。在了解这个的基础上，设计者才能充分理解要表达的印制板细节，以及需要引起注意的问题。在印制板设计完成后应该完成装配图，因此本章被单独设置。

本章虽然对装配图给予简洁的描述，但本书仍是基础的也是最重要的关于 PCB 设计的书。用一本书专门来描述机械设计任务的各个方面是很必要的。已经有了几本详细描述装配图的书和标准。

8.1　画 装 配 图

首先要确定由谁来画装配图和是否需要画。很多公司雇用机械画图人员，由他们来画装配图。而有些人认为既然设计者进行了印制板的设计工作，理应由他们画装配图。当画装配图时，大多数零件都已有，仅需要一些额外的信息。一些公司将这份工作分给两个人，让设计者尽可能多地输入信息，然后将设计/图纸给机械绘图人员，后者将完成其另外视图并增加有关机械零部件。

有一些分包商或公司仅设计印制板，本章是针对他们讨论的。不画装配图而仅为装配提供网印层的情况是很少的。许多设计者也画装配图并且用设计 PCB 的同一软件来完成，同时可能期待有更强大功能的软件工具能对画装配图提供更多的支持。长期以来，很多 PCB 设计者都是 CAD 绘图人员，由于某些原因（通常因为绘图程序知识）改为从事 PCB 设计。随着技术进步，绘图人员和设计者之间的差距也增大。基本的绘图知识让位于电子和元器件知识。随着 PCB 设计者待遇和地位的提高，电子工程师趋向于成为设计者或在通常工作的基础上做设计工作。随着这种情况的发生，机械设计和绘图知识减少，而工程师要么努力学习以完成更多的机械设计工作，要么将设计转给机械设计师或绘图人员，后者将完成装配图的绘制。在小规模公司中，电子工程师、PCB 设计者和机械绘图者由一个人来担当。

下面的信息提供了一个简单深刻和快速的规则，设计者可以根据这些规则来提供标准化和简化工作。

- 如何决定需要的装配图类型已经在第 3 章中进行了论述，但其主要是针对印制板的设计部分。本章从维修人员和装配技师要求的角度来讨论装配类型。

- 视图是印制板的最好表示，使装配技师可以通过它理解安装技术中元器件是如何安装到印制板上的。
- 注释、引导说明和参照标识符示出了印制板、零部件清单和装配说明之间的关系。
- 用不同方法构造一张印制板的修订版本和版本，以及如何去标记它。

8.2　确定要求的装配图类型

在最初的印制板设计中，应确定装配类型和印制板的可维修性。虽然一些设计者会为每一张印制板确定一种过程类型，而其他使用多种类型和工艺的设计者则会根据用途和要求的不同确定不同类型的装配图：

- 很强的可维修性和手工装配的印制板需要提供给技师和装配员所有的附加信息（参见图 8.1）。这样当维修和装配时可以很方便地查找信息。

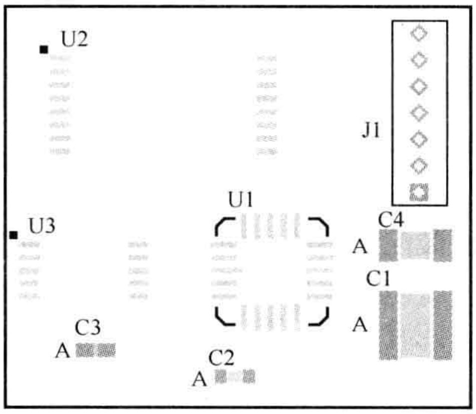


图 8.1　元器件区域之外的参照标识符和大的连接器文字

- 如果位置很小，不易在印制板上做标识，那么应创建装配图和（或）维修图（参见图 8.2）。

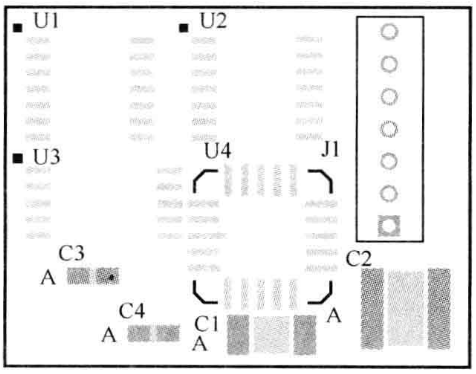


图 8.2　元器件区域之外的参照标识符

- 除了其参照标识符可以隐藏外(参见图 8.3)，低维修性手工装配印制板与高维修性手工装配印制板基本要求一样。

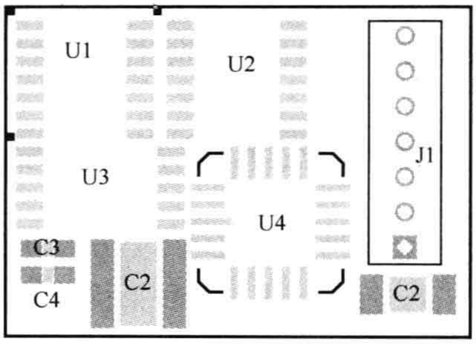


图 8.3　元器件区域之内的参照标识符

8.3 装　配　图

装配图仅需显示两面的最小情况。侧视图显示元器件的高度，从而可以验证元器件及其位置。最初图应为印制板的俯视图，显示元器件的轮廓(或必要时用元器件的立体图)及参照标识符，呈现已完成印制板的实际面貌。完整的规则是为了显示各方面的信息，从而表示出印制板在哪里及如何被装配。小的方面，例如引脚插入连接器、锁定方向和开关位置，应被放大或分解加上装配说明来表述如何装配印制板。深一层的装配仅说明很难装配于印制板上的那些元器件。这些是需焊接的或铆上的或用螺钉拧到印制板上的物件。当印制板需要装配进其他物件时，其将成为下一级装配的子装配件。

如图 8.4 所示，完整的装配图可以在一张纸上表示出。图包括以下内容：

- 标题区
- 印制板俯视图
- 印制板侧视图
- 装配说明
- 查找编号(使用于无参照标识符的元器件)
- 查找编号说明(查找编号和元器件的参考说明)
- 可选择的参照标识符表
- 可选择的线连接表
- 可选择的 ESD 说明

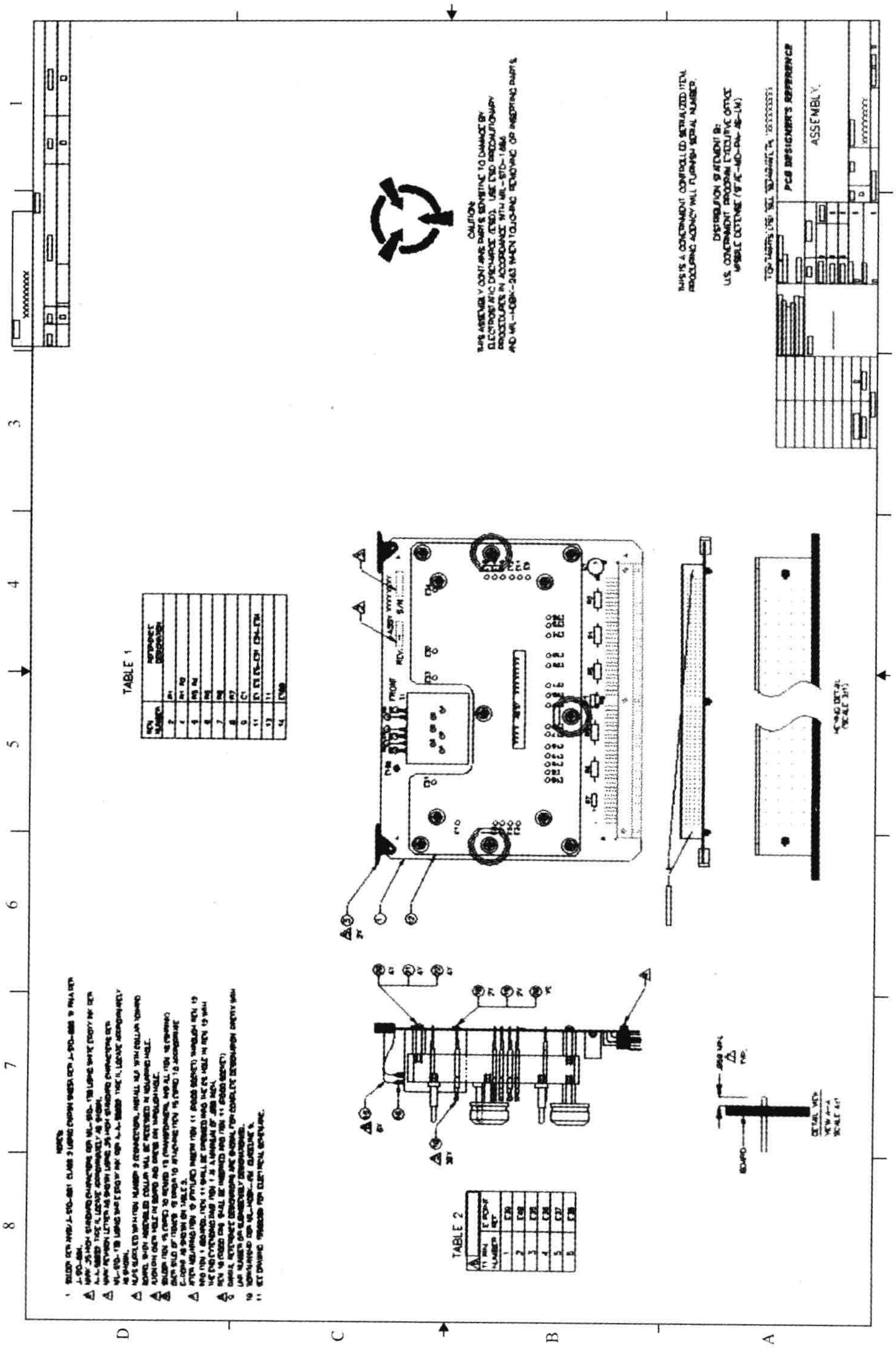

CAUTION
TABLE 1
TABLE 2
PCB DESIGNER'S REFERENCE
ASSEMBLY
NOTES

图 8.4　样品装配图（单页）

8.3.1 融合网印网格

装配图包含的许多信息都在网印网格中提供，如图 8.4 所示（若使用网印网格）。如第 6 章中所讲的，一个元器件所有的信息都应包含进来。这里的所有信息包括全部的装配和装配图中需要的任何信息。元器件信息的大多数应被包含进网印网格图中。由于焊盘间隙、板边缘以及不在板上的连接器等原因可能会出现断线处。可以将这些信息插进元器件的装配层中。网印网格提供了装配图中连接器和元器件的无缝轮廓。

8.3.2 装配图清单

装配图的俯视图可以包括元器件轮廓、参照标识符（或网印网格）、许多附加标注或硬件，例如：

- 螺丝钉
- 螺母
- 导线
- 收缩管道
- 散热片
- 安装支架
- 安装硬件
- 显示印制板俯视图，包括：
  - 参照标识符
  - 元器件轮廓（可以被网印网格输入）
  - 连接到无参考标示的元器件上的引线

这些只是组成装配图的元件中的一部分。同样，哪些元件应包含进装配图取决于印制板的用途和维修。目的是为了将印制板上的所有要素包含进装配图，包括子装配件（如图 8.5 所示）。也可提供安装和分解图（如图 8.6 所示）。这些图通常用于更高级的印制板中。

- 印制板侧视图：示出印制板的侧面外观，用于清楚示明装配。

印制板的侧视图（如图 8.7 所示）提供了俯视图无法清楚表示的印制板的方面。元件的高和方向都是需要考虑的方面。大多数需要装配的元器件和硬件需要在侧视图中进行说明。这些项包括：

- 安装硬件
- 支架
- 侧视图中特别描述的项
- 90° 连接器

- 引线的细节情况
- 全部装配件
- 将装配件和其外壳（外壳是下一级装配件）分开显示
- 加载/放置装配说明，例如：
  - •焊接类型
  - •安装
  - •零件清单信息
  - •来/去信息
  - •装配零件的压缩或扩张
  - •其他附加要求

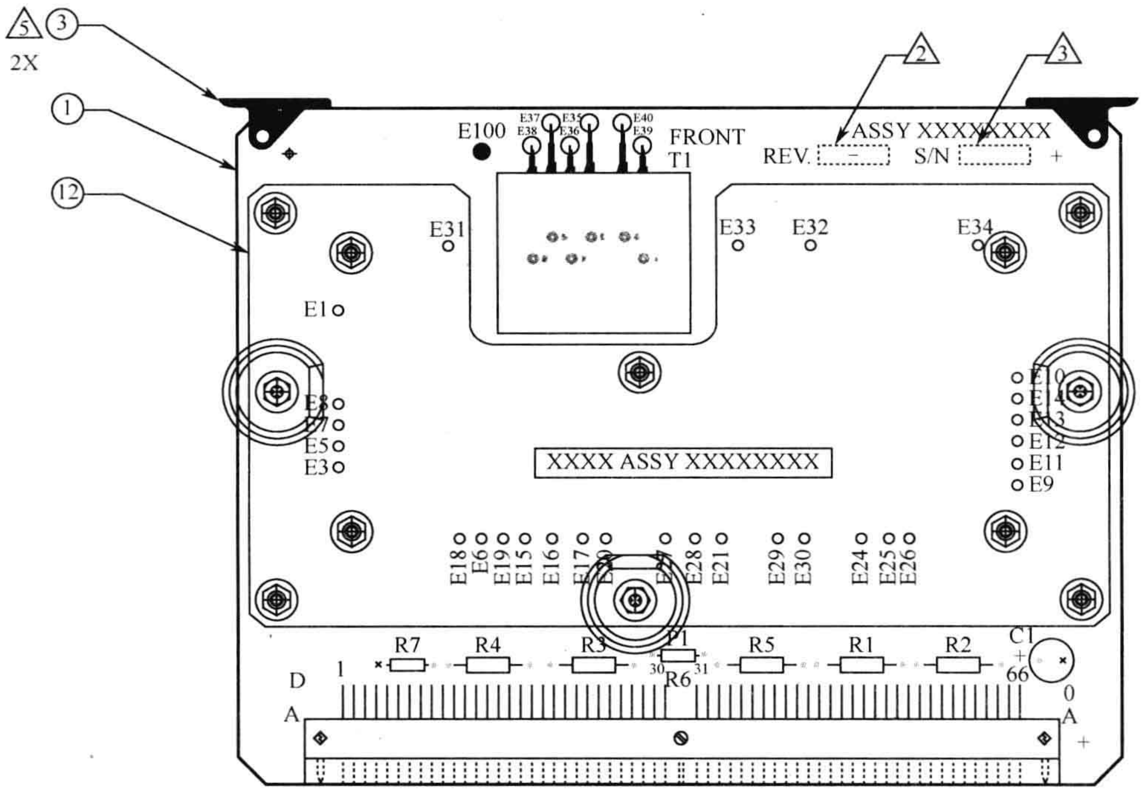


图 8.5 印制板俯视图

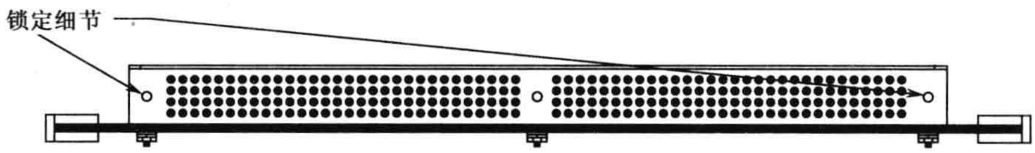


图 8.6 表明锁定细节的印制板前视图

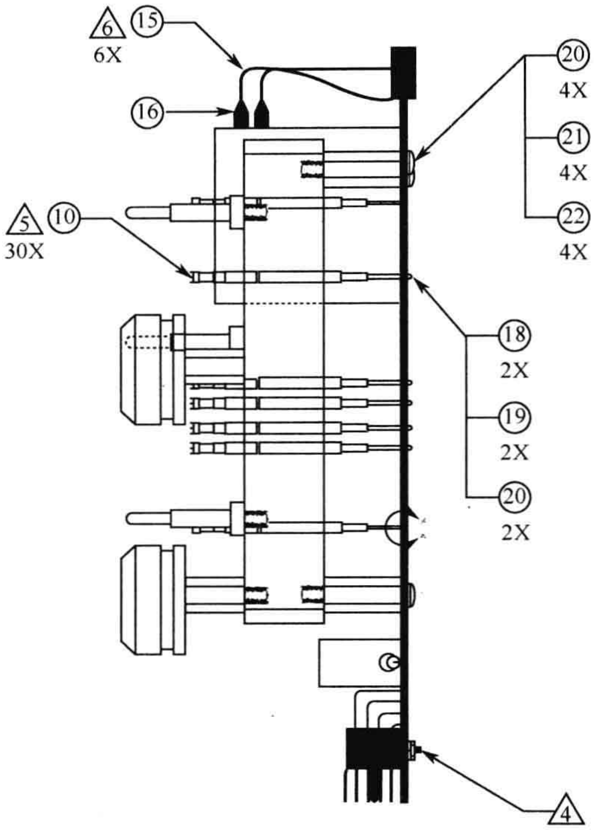


图 8.7 印制板侧视图

8.3.3 装配说明

装配说明（参见图 8.8）可以解决所有问题，包括焊接标准、工艺标准（除去锐边、去掉额外引线长度等）以及公司颁布标准等。设计者有装配问题时可以依靠自己的装配经验，或者咨询装配人员来解决。了解装配过程后，设计者必须考虑产品的装配过程并解答由此引发的问题。

因为印制板上的许多部件是机械性质的，或因为印制板仅是一个完整的机械装配中的一个组件，一些设计者/公司认为印制板装配应该由机械设计师来完成。

如果印制板装配是外包完成的（可能由几个不同的公司完成），那么应附上所有详细信息。这些信息应包括装配顺序、附有说明的分布图、标记颜色，甚至包括做屏蔽罩、盖子以及外壳等用的金属件的弯曲程度。

注意：PCB 装配的说明和查找编号应该满足机械绘图标准。

- 敷形涂覆的尺寸。
- 装配件修改。

装配版本、修改版的图戳或标记可选且最好留在网印网格上，并根据装配构造放置。这样可以让设计者由几张装配构造图生成一张印制板(参见图 8.9)。

注意：

1. 焊接遵循 ANSI/J-STD-001 第二类，所使用的 SN63A 构成遵循 J-STD-006，可靠性遵循 J-STD-004。
2. 标记 0.25 的高标准特性遵循 MIL-STD-130，所使用的白色环氧墨水遵循 A-A-56032 类型 2。位置如图所示。
3. 标记修订文字如图所示。0.25 的高标准特性遵循 MIL-STD-130，所使用的白色环氧墨水遵循 A-A-56032 类型 2。
4. 提供螺帽的零件编号为 2（连接器)。在板上安装带有轴环的螺帽。装配时，轴环将会凹进安装孔中。
5. 按照板上的孔将引脚排列好，并将引脚压入孔中。
6. 将零件 15(电线)的一头焊接到零件 13(变压器)上，在另一头连接到表 2 所示的终端之前，将零件 16(收缩套管)套到零件 13 的桩头上。
7. 安装好零件 12(支架)后，将零件 11(弹簧插座)通过零件 12(支架)插入到零件 1(印制板)中。零件 11 将会被压入到零件 12 内的标准孔，其终端会越过零件 1 至少 0.05 英寸。
8. 零件 10(弹簧引脚)应插入到零件 11(弹簧插座)。
9. 部分参考标识符如图所示。要了解完整的标识符或单位号码和子装配标识符的前缀。
10. 请参见电气原理图，图号为：××××××××。
11. 除非特别说明，完成装配应符合 IPC-A-610。

图 8.8 装配注意事项

- ESD 符号和注解(如必要)。

若可行，应加上 ESD 符号和注解(如图 8.10 所示)以确保装配人员清楚装配应注意的事项。

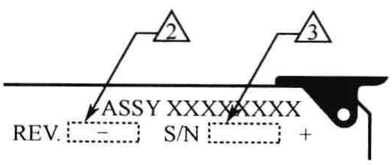


图 8.9 装配修改版或版本图戳



警告：
本次装配包括了容易被静电放电(ESD)损坏的元器件。
当触摸、移动及插入元器件时请使用符合MIL-STD-1686
及MIL-HDBK-263的ESD预防程序

图 8.10 静电放电(ESD)注解

8.4 装配图最终说明

画装配图的方法不止一种。方法的选择依赖于印制板应用和装配要求。正如所说明的那样，有许多不同的方法、不同的应用程序来画装配图。对于一个公司来说，只使用一种方法可能不适合，可以使用多种格式完成，特别在外包情况下。要满足顾客的要求，设计者必须准备用几种不同的方法，画成不同的格式。有几种绘图标准可以用来确定格式。

8.5 小　　结

一个装配图中的许多要素都基于装配者的要求，或基于需要使用装配图进行故障定位和排除的维修技师的要求。

装配图应该从需要清楚显示的任何角度来表明印制板的装配信息。装配图应包含印制板装配的所有硬件，并说明零件如何装配以及按什么顺序装配。

已完成的装配的附加说明也是有必要的，且应该符合实际的标准以减少需要详细说明的信息量。

附录A　示　　例

图表

下面给出了一些电路原理图和图解样式/格式的示例。

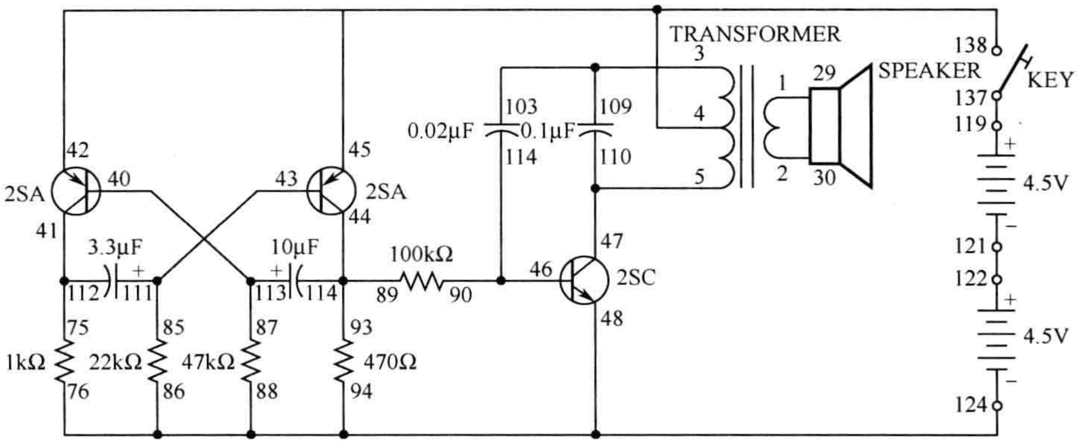


图 A.1　报警电路

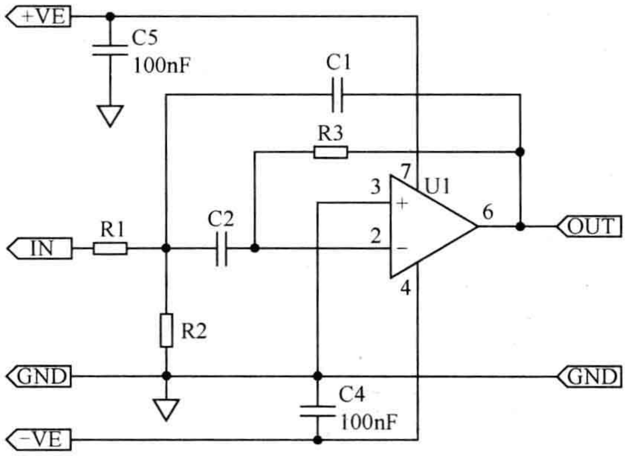


图 A.2　滤波器电路

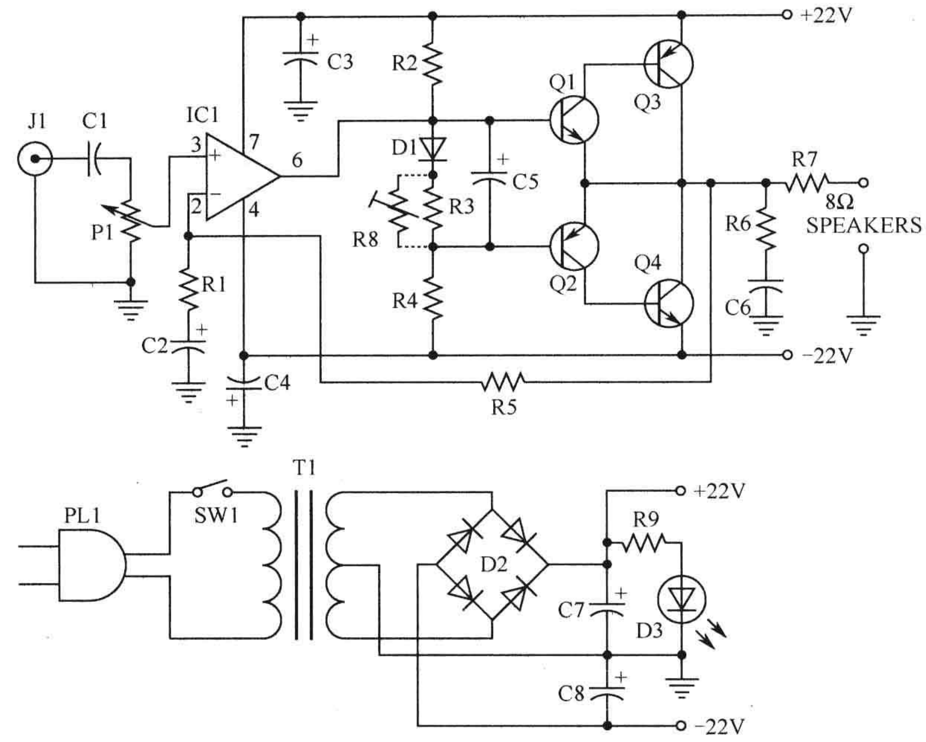


图 A.3 放大器电路

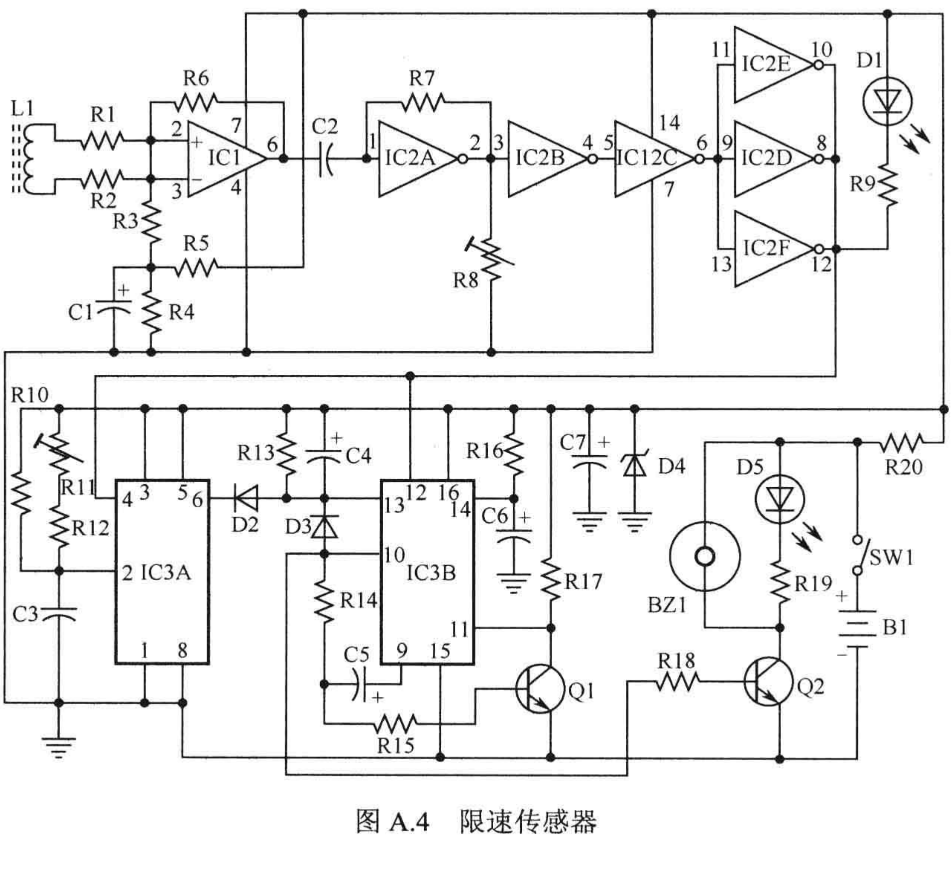


图 A.4 限速传感器

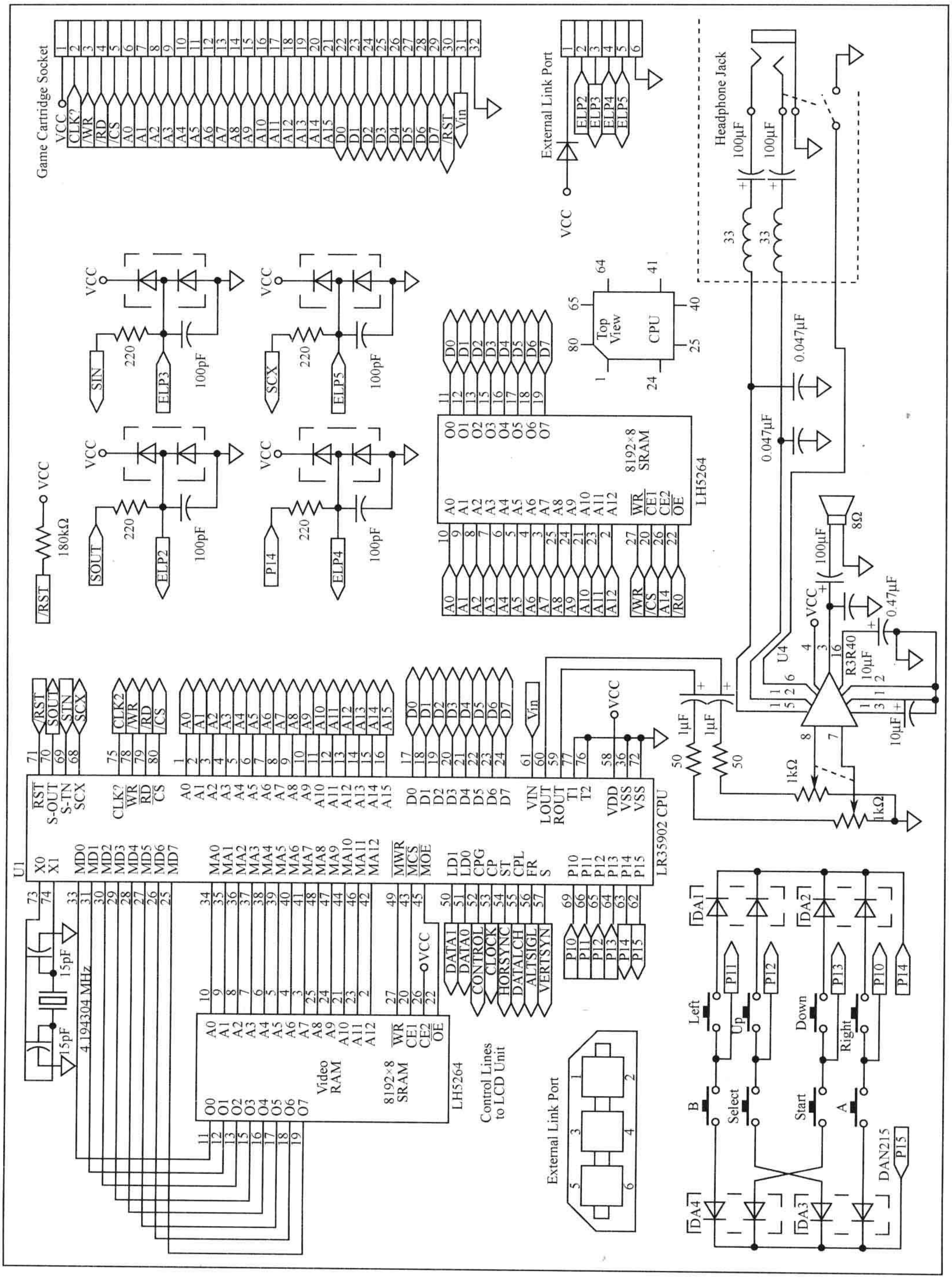

Game Cartridge Socket
External Link Port
Headphone Jack
U1
LR35902 CPU
LH5264
8192×8 SRAM
Video RAM
Control Lines to LCD Unit
4.194304 MHz
Top View
CPU
U4
R3R40
DA1
DA2
DA3
DA4
DAN215
Left
Up
Down
Right
B
Select
Start
A
VCC
180kΩ
220
100pF
15pF
1μF
10μF
100μF
0.047μF
0.47μF
1kΩ
8Ω
33
50

图 A.5　电子游戏机

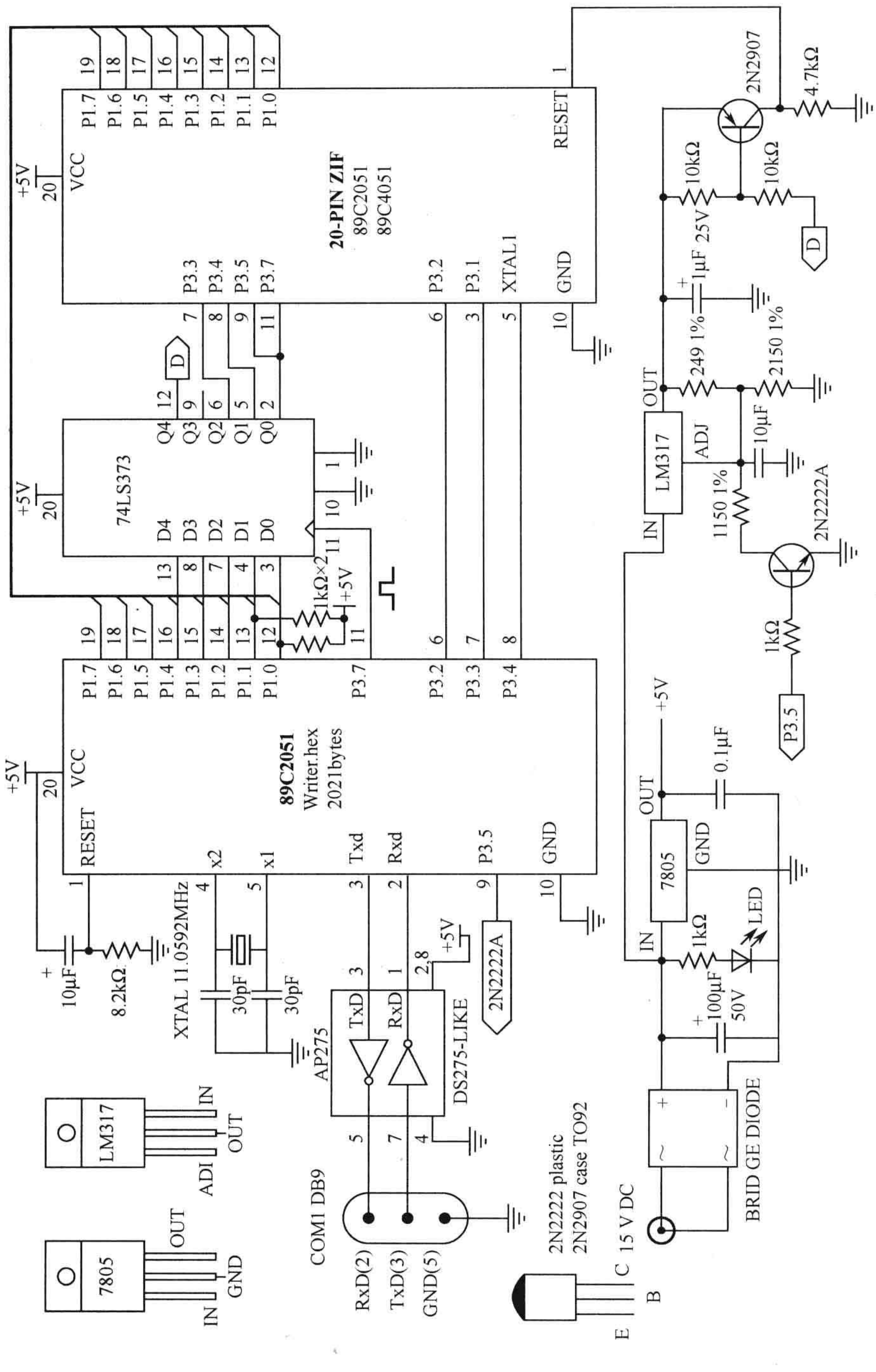

20-PIN ZIF
89C2051
89C4051
RESET
VCC
GND
XTAL1
74LS373
89C2051
Writer.hex
2021bytes
XTAL 11.0592MHz
30pF
10μF
8.2kΩ
1kΩ×2
+5V
AP275
DS275-LIKE
TxD
RxD
COM1 DB9
RxD(2)
TxD(3)
GND(5)
2N2222A
2N2907
4.7kΩ
10kΩ
1μF 25V
249 1%
2150 1%
1150 1%
10μF
LM317
IN
OUT
ADJ
7805
0.1μF
100μF 50V
LED
1kΩ
BRID GE DIODE
15 V DC
2N2222 plastic
2N2907 case TO92
E
B
C
P3.5

图 A.6　计算机板

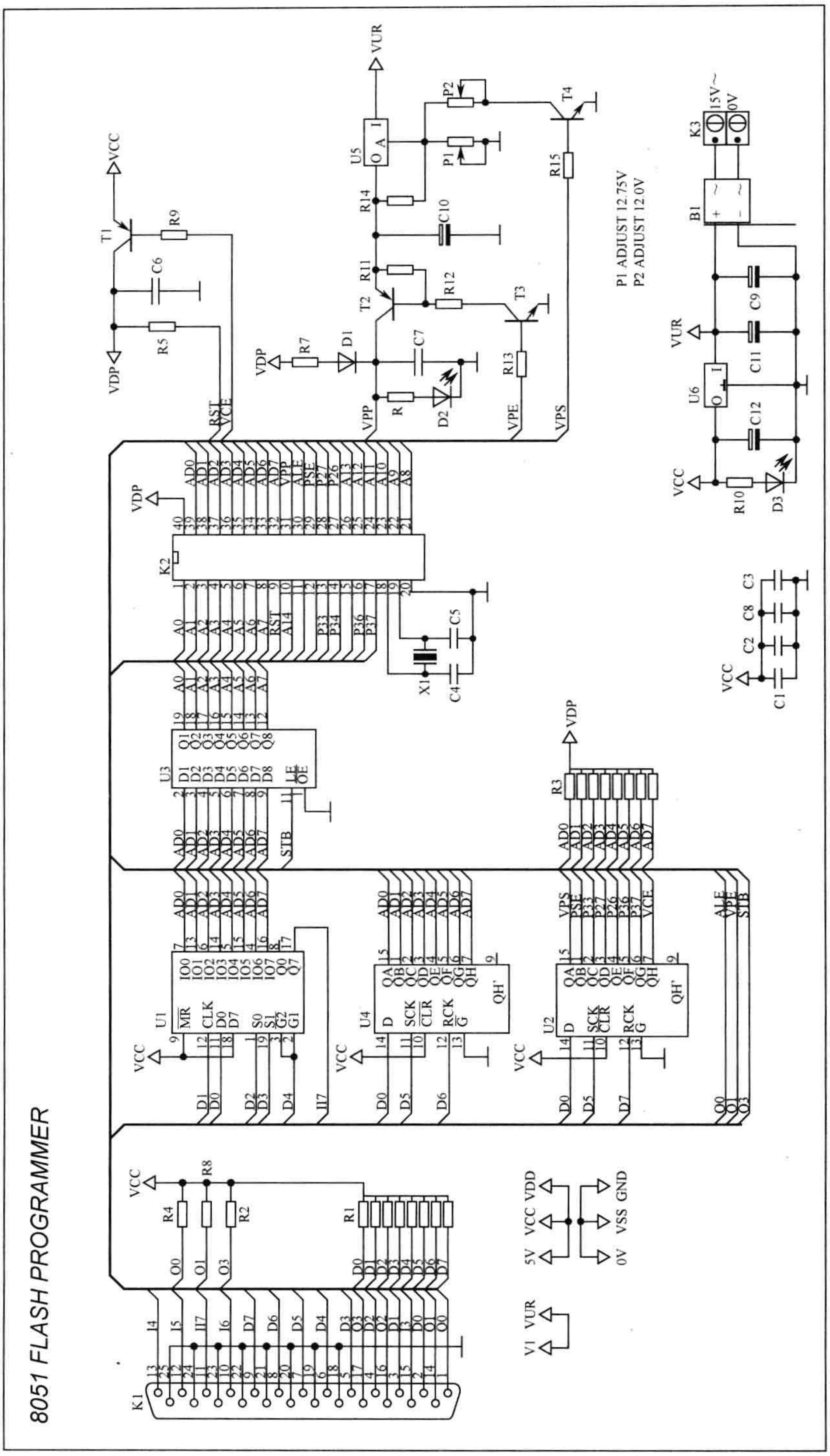


图 A.7 处理器和内存

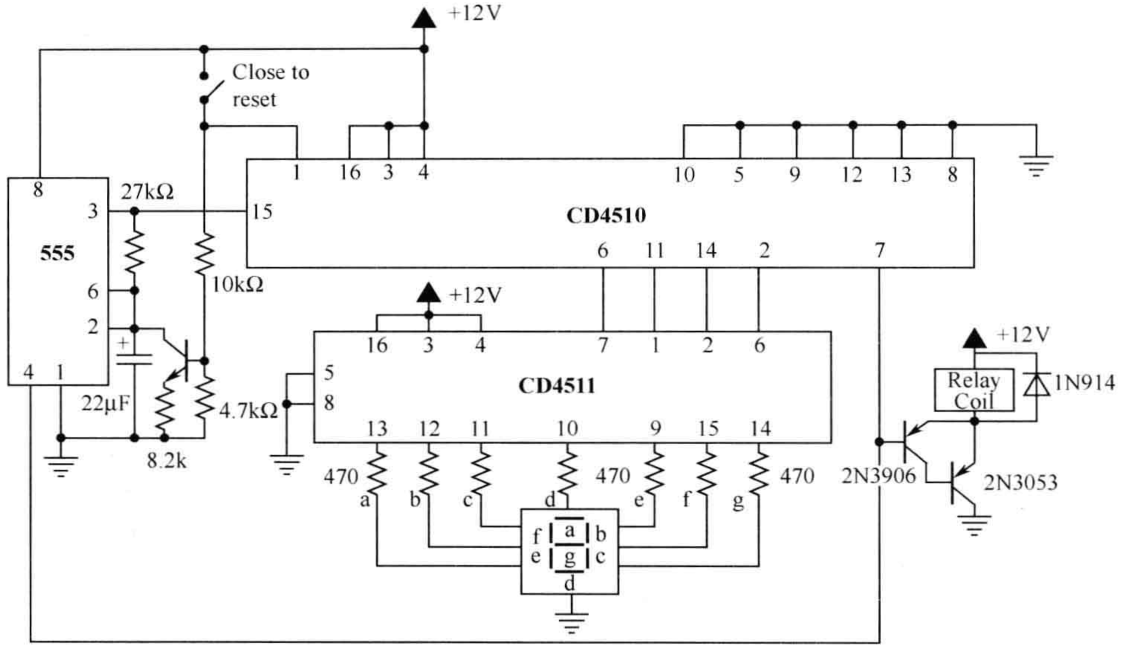


图 A.8 倒计时器

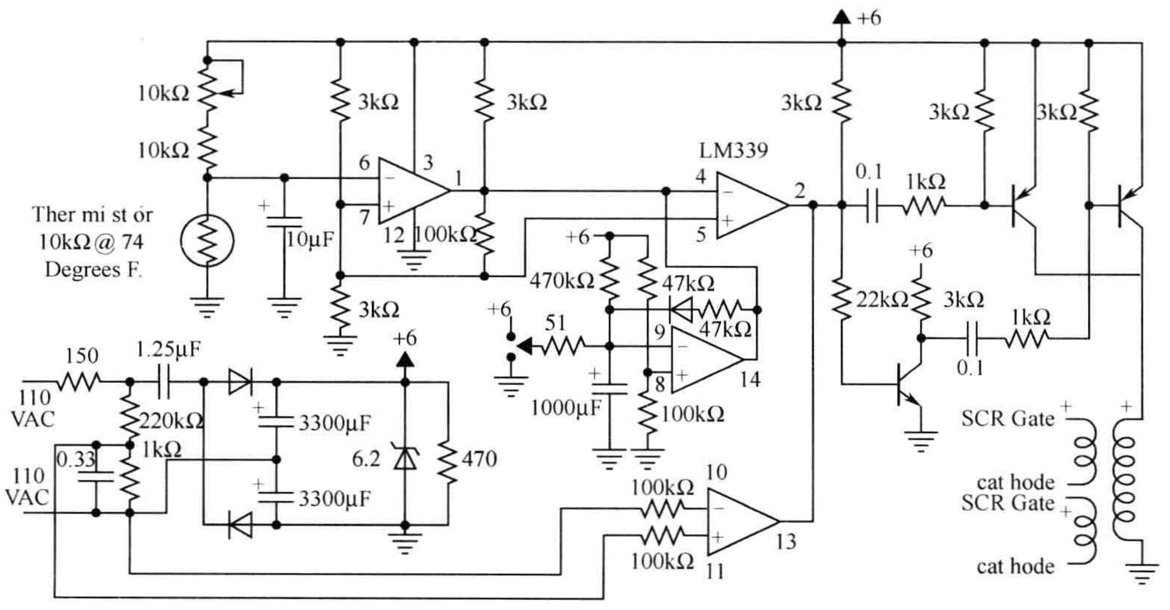


图 A.9 加热控制器

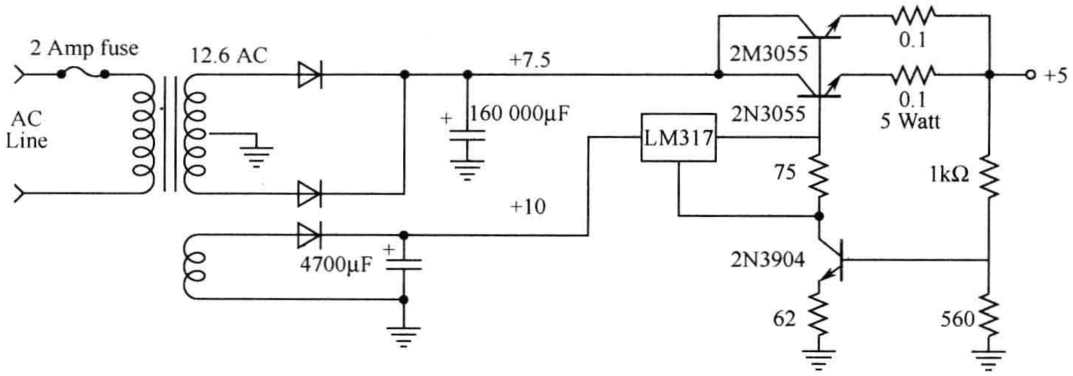


图 A.10　视频放大器

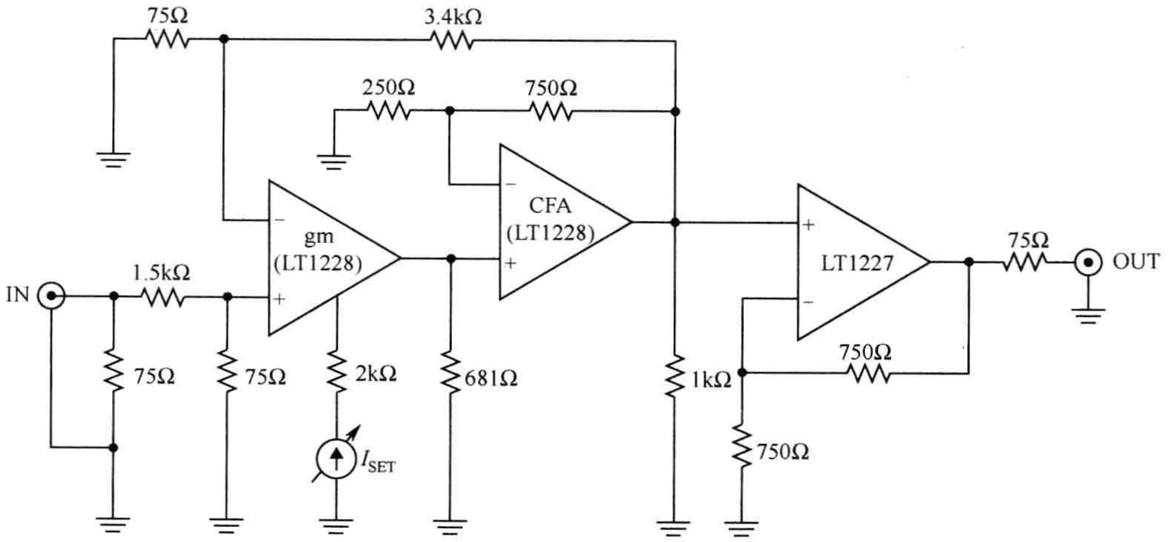


图 A.11　内部通信系统

PCB

下面的图是不同类型 PCB 的示例。这些 PCB 是根据具体的应用、环境条件、UL 需求或设计者的标准设计的，都是可使用的。

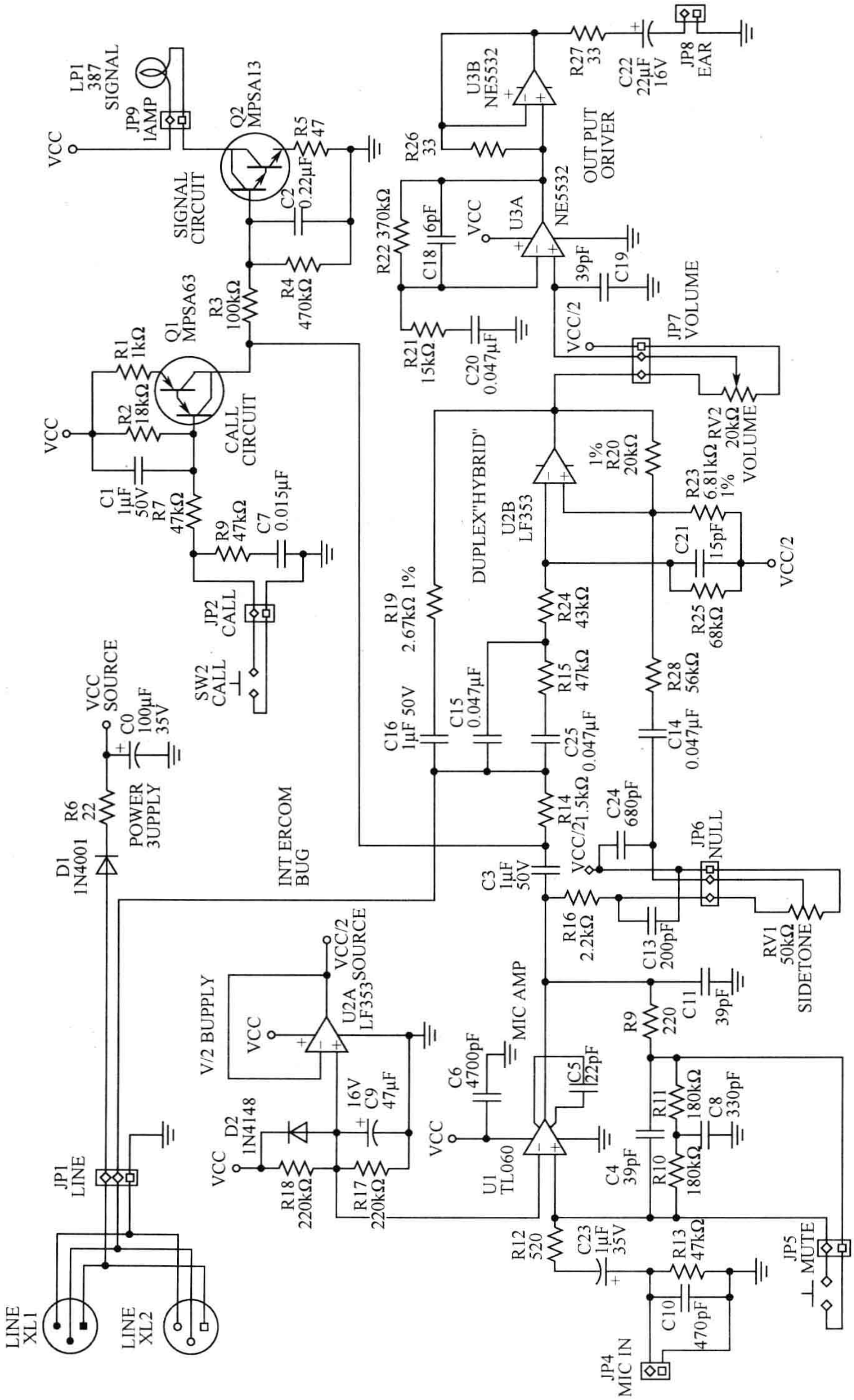


图 A.12 大电流开关电源

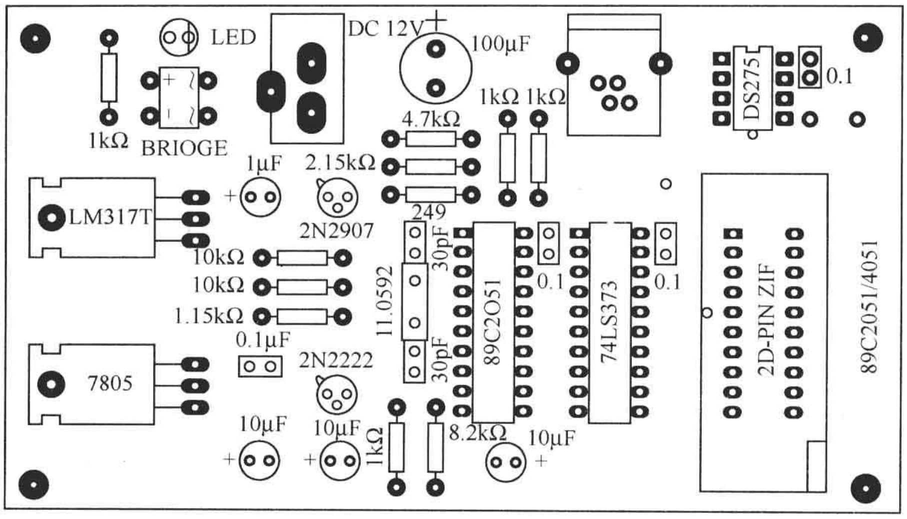


图 A.13 Misc.1

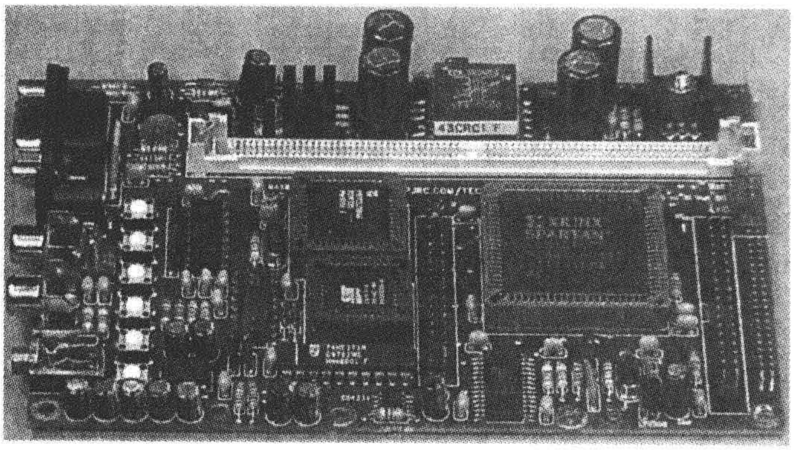


图 A.14 带音频功能的 PCB

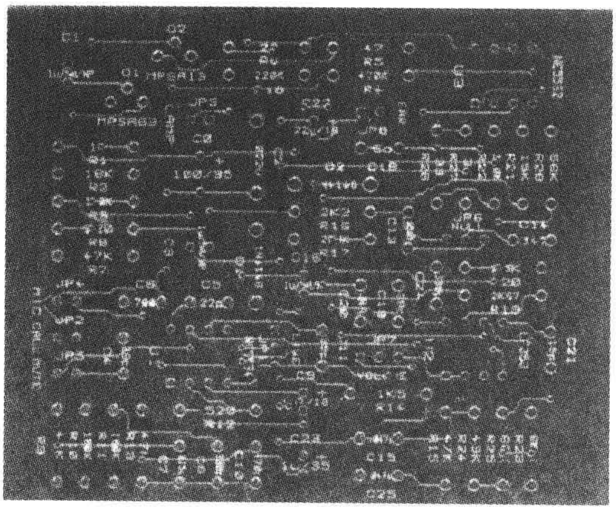


图 A.15 内部通信系统 PCB

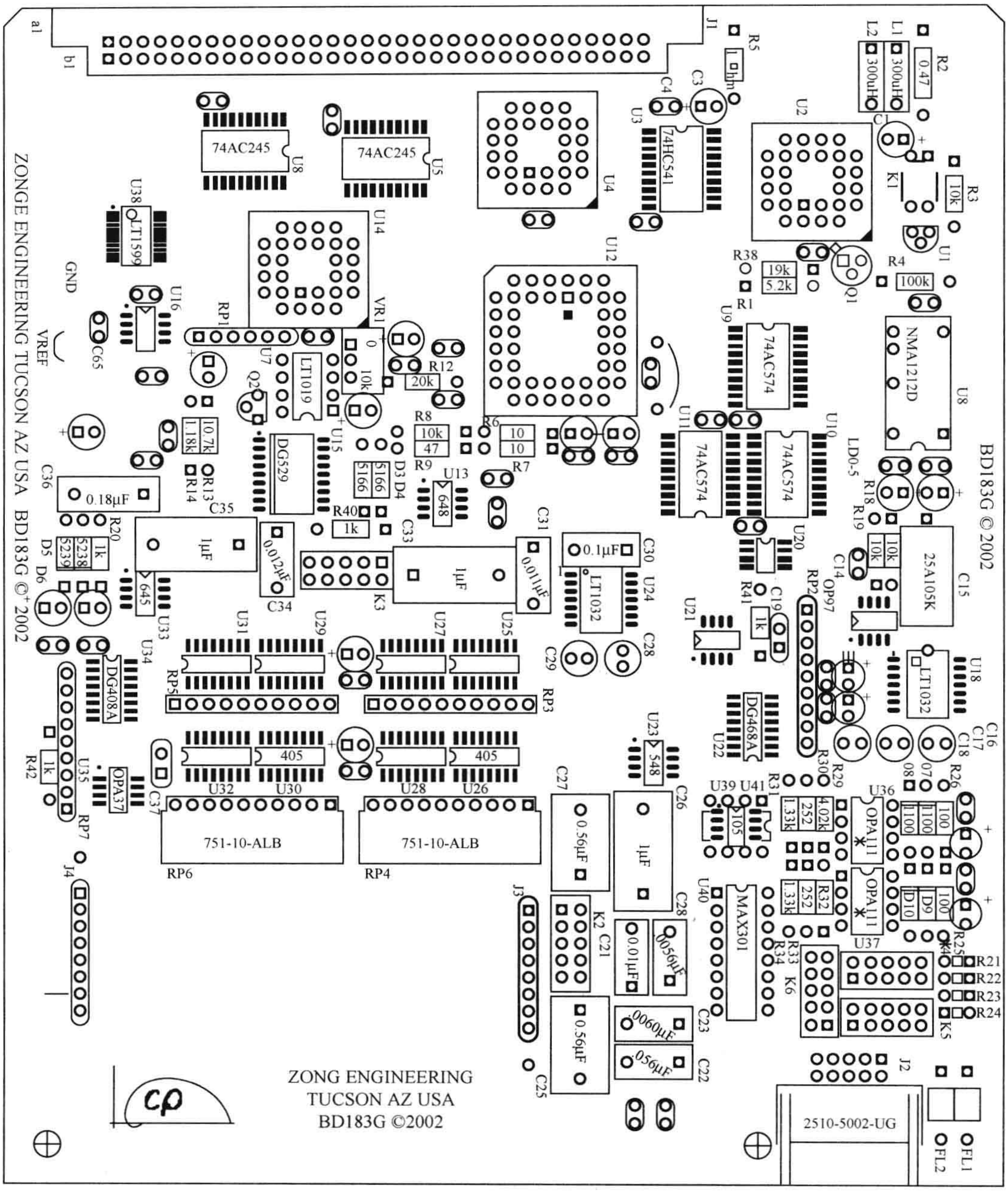

ZONG ENGINEERING
TUCSON AZ USA
BD183G ©2002
ZONGE ENGINEERING TUCSON AZ USA BD183G ©2002
BD183G © 2002
74AC245
74HC541
74AC574
NMA1212D
LT1599
LT1019
DG529
LT1032
DG408A
DG468A
OPA37
OPA111
MAX301
25A105K
751-10-ALB
2510-5002-UG
1μF
0.18μF
0.1μF
0.56μF
405
548
645
648

图 A.16 示例 1

PCB 制造专用术语表

这些术语为 PCB 制造商专用。一些术语具有标准的定义，但是在实际使用时，会呈现出不同的含义。本术语表完全是以资料来源的原貌列出的①。

术　　语	定　　义
Activating（活化）	一种使非导电材料易于接受化学淀积的处理方法。也可称为引晶（seeding）、催化（catalyzing）、敏化（sensitizing）
Additive Process（加成法）	PCB 制造中，电路图形由金属添加物产生的过程
Analytical Services Lab（分析服务实验室）	执行诸如电镀厚度测试、内部层与孔壁导电连接测试、必要的电路板照相和 X 射线检查等不同测试任务
Annular Ring（孔环）	孔周围的导电材料
Artwork Master（照相底图）	一种准确的比例图（通常采用 1∶1 的比例），用来生产制造用的总图
Aspect Ratio（板厚孔径比）	电路板厚度与最小通孔直径之比
B-Stage Material（B 阶材料）	被 B 阶树脂（一种凝固到中间状态的树脂）浸渍的层状材料（如玻璃纤维布）。相同含义更常用的词是预浸材料
Back Planes and Panels（底板）	用于各模件互连的安装板。PCB 板、其他底板或集成电路插件都可以在这块安装板上接插或安装。底板的典型厚度是 0.1250～0.300 英寸
Barrel（金属套筒）	通过对钻孔进行电镀而形成的金属圆筒
Base Copper（铜基层）	片状铜箔或金属层，覆盖于电路绝缘板的单面或双面，作为电路板的内层或者外层
Base Laminate（基底层压板）	在上面可形成导电图的绝缘材料层压板。基材可以是刚性的，也可以是柔性的
Base Material（基材）	参见基底层压板
Bed-of-Nails Technique（钉床技术）	测试 PCB 的一种方法。其方法是将测试图形安装上一组接触插针，而插针与 PCB 板上的电镀通孔吻合
Bleeding（渗出）	从电镀孔的裂缝和空隙流出工艺流程中的材料或溶液的现象
Blind Via Hole（盲孔）	多层 PCB 板中，用于连接外层和一个或几个内部导电层，但并不通过电路板多层绝缘底层的所有层的一种电镀通孔
Blister（起泡）	多层基材的各层之间，绝缘基材与导电箔之间出现的局部膨胀和分离现象。它是一种分层的形式
Blow Hole（气孔）	热循环过程中，由于工艺流程中的溶液中排出气体而造成的焊锡连接的空洞
Bond Strength（黏合强度）	当需要分离电路板的相邻层，垂直对电路板施加力时，电路板每单位面积所承受的力

① PCB 制造术语经 Merix 公司许可引用（www.MERIX.com）。

（续表）

术　语	定　义
Breakdown Voltage（击穿电压）	在此电压下，绝缘体或电介质击穿，气体或蒸气电离化并呈现导电性
Bridging，Electrical（电气桥接）	两个互相绝缘的导体，如电路板上相邻的铜膜导线之间建立导电途径的一种方式
Buildability Meeting（制造可能性评审会议）	评审定制设计是否与制造能力存在矛盾的会议，其目的是为了在 PCB 制造之前识别出可能失败的模式
C-Stage（C 阶）	树脂聚合体处于完全凝固、交联的固态，并具有高分子质量的状态
Center-to-Center Spacing（中心距）	在 PCB 板任何一层上相邻元器件或铜膜导线之间中心线间的标称距离。也称节距（pitch）
Chamfer（倒角）	用来消除导线尖锐边缘的圆形拐角
Characteristic Impedance（特征阻抗）	对传输线电阻、电感、电导、电容的复合测量值，以欧姆为单位。对于印制线路，这个数值取决于导体的宽度和厚度、导体距离地线的距离以及绝缘介质的电介质常数
Chase（凹口）	PCB 板表面上用于盛放屏蔽墨水的铝制框架
Circuitry Layer（电路层）	特指 PCB 板中含导体的一层，包括地线和电源线的层
Clad/Cladding（覆箔）	一个薄的层状或片状铜箔。它附着在一块绝缘板上形成了印制板的基材。参见铜基层
Clearance Hole（隔离孔）	导电图上的一个孔，比 PCB 板基材上的孔大，但是同心
Coefficient of Expansion，Thermal（热膨胀系数）	温度每改变 1℃，材料尺寸变化的大小
Component Hole（元件孔）	用于将元器件的终端，包括引脚和导线与 PCB 板进行焊接或电气连接的孔
Component Side（元件面）	PCB 板的一面，大多数元器件安装在这一面上
Conductive Pattern（导电图形）	导电材料在基底层压板上的布局和设计。依靠这些布局和设计，电能得以通过。包括导体、连接盘和通孔连接
Conductor（导线）	PCB 板表层或内层上的细小导电区域，通常由焊盘（通过元器件引线得以连接）和通路（铜箔导线）组成
Conductor Base Width（导线底宽）	导体在基材表层平面的宽度。参见导线宽度
Conductor-to-Hole Spacing（导线孔间距）	导线边缘与孔边缘之间的距离
Conductor Thickness（导线厚度）	铜箔导线或焊盘的厚度（包括所有金属涂层）
Conductor Width（导线宽度）	PCB 板上任意一处导线的可视宽度
Contaminant（杂质）	出现在印制线路系统上的一种混杂物，可能会对系统产生电气、化学或直流腐蚀
Continuity（连通性）	电路里电流的不间断流动
Coordinate Tolerancing（协调容差法）	一种孔定位的容差方法，能够直接应用于线尺寸和角尺寸，通常形成一个矩形面积的允许变化范围
Copper Foil（铜箔）	参见铜基层以及金属覆箔

（续表）

术　语	定　义
Core Group（核心小组）	为了按时为用户生产和提交高品质、成本效益好的电路板，每班举行日运行会议对工厂目前情况进行交流。小组找出可能阻碍实现日目标或周目标的问题，并提出这些问题的解决方案
Cosmetic Defect（表面缺陷）	不影响电路板功能的缺陷，如仅仅颜色发生微小变化
Cover Lay，Cover Layer，Cover Coat（遮盖层）	覆盖于 PCB 板表面导电图形之上的绝缘外层
Crazing（微裂纹）	出现在基材中的一种现象。是在基材表层上下处出现相互连接的白斑或交叉裂纹。这种现象反映了玻璃布或树脂材料中纤维的分裂性
Current Carrying Capacity（载流量）	在指定条件下，导体可持续通过的、不至于造成 PCB 板电气或机械特性降低的最大电流
Datum Reference（参考基准）	用于对制造和检查时的图形或层进行定位的点、线或平面
Deburring（去毛刺）	PCB 板钻孔以后，去除残留在孔周围的基层铜材料痕迹的过程
Defect（缺陷）	与产品或元件正常特性的偏差。参见主要缺陷和次要缺陷
Definition（清晰度）	印制电路里的图形边缘相对于标准图形的准确度
Delamination（分层）	在基材各层之间或者在绝缘板和导电箔之间，或者在 PCB 板所有各层之间的一种分离现象
Desmear（去钻污）	从孔壁上去除熔化的环氧树脂和钻孔碎片的过程
Develop（显影）	一种成像操作。在这一过程中，铜板上未曝光的光致抗蚀剂部分被溶解或冲洗掉，这样通过腐蚀和电镀，就可以制造出带有光致抗蚀剂图形的铜板
Dewetting（半湿润）	当熔融的锡覆盖了印制板表面，即着焊锡回缩，留下不规则形状的锡珠分布在薄的锡镀覆盖的区域。使基材金属不暴露
Dielectric（电介质）	一种占据了两个以上导体区域的绝缘媒介
Dielectric Constant（电介质常数）	材料的介电常数与真空介电常数之比（参考相对介电常数）
Digitizing（数字化）	将平面上的特定位置转换为 *x-y* 坐标上的数字表示的任意方法
Dimensional Stability（尺寸稳定性）	对由温度、湿度、化学处理、老化、应力等因素造成的尺寸变化的测量值。通常用单位表示
Dimensioned Hole（注尺寸孔）	印制板上的一个孔，以此为基准，位置可以通过 *x-y* 坐标值来确定，而不必按照指定的网格来确定
Double-Sided Board（两面板）	每面均有导电图形的电路板
Drills，Circuit Board（钻孔机）	带有 4 个凸线点和两个螺旋槽的实心碳切割工具，特别设计的螺旋槽用来快速去除极度磨损的芯片
Dry Film Resists（干膜抗蚀剂）	专门为加工印刷电路板和化学机械零件而设计，形式为多层感旋光性薄片的涂层材料。也可作为各种电镀和蚀刻过程的防腐剂
Edge Bevel（边缘斜角）	对边缘连接器所进行的斜角操作，以改善其磨损度和安装的容易程度
Edge-Board Connector（板边连接器）	专门设计的一种连接器，可以在印制板边缘的边缘板接头和外部线之间创建可移动的、可靠的连接

（续表）

术　语	定　义
Edge Dip Solderability Test（边缘可浸焊接性测试）	取特别准备的样本执行一次可焊性测试，用未活化的松香阻焊剂对它进行熔融处理，然后以预先设定的浸入率和静置时间浸入到一锅熔化的焊锡中，并以预先设定的速率抽出
Electroless Plating/ Electroless Deposition（化学镀/化学淀积）	不使用电流进行电镀时，自动催化镀溶液产生的淀积。缩写为“electrodeless”。这一过程需要镀非电导性孔壁，这样接下来它们就可以电镀了。也被称为“PTH”
Electroplating（电镀）	（1）覆盖在导电物体上的金属电镀沉淀，电镀的物体被放入电解质中，并且连接到直流电压源的一端；与此同时沉淀的金属也被插入到电解质中，并且连接到电压源的另一端。因为在电极之间的金属离子形成电流而使金属产生传导；（2）电解质过程在电极的一极放置物体，并通过化学溶液传递电流到另一极来在此物体上进行金属沉淀。金属既可以在溶液里也可以在其他电极上进行电镀
Entrapment（气泡）	空气、焊剂或烟雾的破坏性介入和汇集。由污染和镀覆所产生
Epoxy Smear（环氧树脂浸润）	在钻孔过程中，沉积到导电内层图形的表面或边缘的环氧树脂。也称为树脂浸润
Etch（蚀刻）	为获得所需的电路图，而施行的用化学方法除去不需要的金属（铜）
Etch Factor（蚀刻系数）	蚀刻深度（导线厚度）与侧面蚀刻量（凹槽）之比
Etchback（凹蚀）	为了使附加的内部导线区域露出，通过孔的侧壁上的化学过程，控制性地除去孔壁上的基材（玻璃纤维或树脂）的所有部分
Fiducial（基准）	在装配操作时用于光学对准的蚀刻特征或钻孔
Film Artwork（薄膜照相底版）	包含有电路、阻焊或名称图形的一张正或负的胶片
First Article（首件）	为了确保制造商能够制造具有规定要求的产品，在产品粗加工前制造的样本部件或装配件
Fixture（夹具）	能用弹簧触点探针测试模式与印制板进行接口的设备
Flat（平面板）	一片标准尺寸的层压材料，可以处理成一个或更多的印制板
Flux（焊剂）	一种用于促进熔融的物质，比如用于从表面除去由焊接和熔接产生的氧化物的材料
Fused Coating（融凝涂层）	一种熔化后又凝结的金属涂层（通常是锡合金），这样可以形成连接到基材的金属带
Glass Transition Temperature（玻璃化温度）	在此温度下，非晶态聚合物（或者部分结晶聚合物的非晶态区）从硬或相对脆性的状态转换到黏性或橡胶性的状态。当转换发生时，很多物理性质发生了显著的变化。这些系数包括硬度、脆度、热膨胀系数以及特殊的热度
Grid（网格）	包含两套平行等距线的正交网络，用于进行印制板定位
Ground Plane（接地层）	导电层或者导电层的一部分，常用于作为电路回路、屏蔽或散热的公共参考点
Haloing（晕圈）	在基材的表面或下面产生的机械断裂或分层；晕圈通常表现为孔或其他机械区域周围的泛白区域
Hole Breakout（孔破坏）	孔未完全被焊盘包围的一种情况

（续表）

术　语	定　义
Hole Density（孔密度）	每单位面积印制板的孔数量
Hole Void（孔壁空洞）	在基材上露出的电镀通孔的金属沉淀中的空洞
Image（图像）	一份照相底图、工作工具、丝网或作为光图像的光掩模板，也包括用光致抗蚀剂或丝网技术建立起的图像。因此，一块标准尺寸的平面板（flat）可以有若干个图像
Inner layer（内层）	被压制在多层板内部的任一层
Inspection Overlay（覆盖检验板）	由生产底版制成的正像或负像透明板，是检验的辅助工具
Insulation Resistance（绝缘电阻）	按照对触点或导体的办法所测量的绝缘材料的电阻（在指定的条件下）
Jumper Wire（跨接线）	在所需的印制板导电图形形成之后，在印制板两点之间用导线形成的额外的电气连接
Kerf（锯路）	通路的一种扩展，可能会在蓝图上出现。这样硬件上可以有额外的空间来连接印制板
Keying Slot（键槽）	在印制板上有极化标记的槽，这样正确排列的引脚可以插入到配对的插座里，并且可以防止插反或插到其他的插座里
Laminate（层压板）	通过将两层或更多层的材料连接在一起而制造的产品
Laminate Thickness（层压板厚度）	在生产过程之前基材的厚度，不包括金属敷层。用于单层或双层材料
Laminate Void（层压板空洞）	在正常应该有层压材料的区域里出现的层压材料空白
Laminating Presses，Multilayer（多层板层压机）	在层压板和环氧树脂板上作用高温高压生成多层板的设备
Lamination（层压）	准备层压的过程
Land（连接盘）	导电图形的一部分，通常（但并不是唯一）用于连接和/或固定元器件，也称焊盘
Landless Hole（无连接盘孔）	没有连接盘的镀覆孔
Layer-to-Layer Spacing（层间距）	多层印制板中，相邻层或导电电路之间的电介质材料的厚度
Lay-Up（层叠）	（1）在准备多层板的层压周期时，定位以及堆积各层材料（层压板和环氧树脂板）的技术；（2）为创建多组印制板，在胶片上多重图像的布置；（3）在准备多层层压时，多层的布置
Major Defect（主要缺陷）	可能导致部件失效或显著减少部件的可用性的缺陷
Mask（遮蔽）	用来使印制板能够进行选择性蚀刻、电镀或者焊接用的一种材料
Measling（白斑）	在基材上存在的一种情况，在基材层压板中出现的离散白色斑点；或在层压板的表面下有“十字纹”，反映出玻璃布中织物交织处的分离现象
Metlab	金相实验室的缩写：（1）指通过使用显微断面来检查内部板质量的过程；（2）显微断面的别称
Microsectioning（显微剖切）	检查材料显微镜检查的样品准备，通常切出横断面。接下来的步骤是密封、抛光、蚀刻、染色等

（续表）

术 语	定 义
Microvia（微导通孔）	用于在毗邻两层之间进行连接，典型直径小于 6mil 的导通孔。由激光烧融、等离子蚀刻、光处理等形成
Mil	0.001 英寸
Minimum Annular Ring（最小环宽）	孔边缘和连接盘外缘之间最窄处的金属宽度。多层印制板内层从钻孔孔壁量起，多层板外层和双面板从镀覆孔的镀层边量起
Minimum Electrical Spacing（最小电气间距）	在给定电压和海拔高度条件下，相邻导线间足以防止介质击穿、电晕或两者皆有所允许的半导体间的最小距离
Minor Defect（小缺陷）	不会减少装置可用性的一种缺陷，它可以偏离标准，但该标准对装置的有效使用和运行没有重大影响
Misregistration（对准不良）	在连续生产的图像（或图形）之间，缺乏尺寸的一致性
Multilayer Circuit Board（多层印制板）	经完整加工处理的印制电路板结构，该结构包含有两层以上不同导电图形和绝缘材料交替黏结在一起
Nail Heading（钉头）	由钻孔造成的多层印制板的内部导电层上的铜的端部扩张现象
Negative（负像）	一种照相底图和生产底版，在这种母版上，导电图形在光照下是透明的，非导电区域则不透明
Nonfunctional Land（无功能连接盘）	在内层或外层上，但不与层上的导电图形相连的连接盘
October Project（十月计划）	致力于在减少电路板制造中的浪费的工业社团
Outer Layer（外层）	位于平面压板之外的导电层
Outgassing（除气）	在进行焊接操作时，印制板排出的有害气体
Overhang（镀层突沿）	在蚀刻过程中，通过电镀堆焊或凹割来增加印制板导体的宽度
Pad（焊盘）	印制电路板上导电图形的一部分，用于安装或连接元件，也称连接盘（Land）
Panel（在制板）	方形或矩形的基材，容纳有一个或更多的电路图形可连续传递给生产工序，以获取印制板
Panel Plating（整板电镀）	整板的全表面电镀（包括孔）
Part（零件）	无法正常拆卸的单件物品
Pattern（图形）	在整板或印制板上导电或非导电材料的配置。也就是相对工具、图以及母版的电路配置
Pattern Plating（图形电镀）	导电图形的选择性电镀
Peel Strength（剥离强度）	从基材剥离导体或铜箔需要的力
Permittivity（介质常数）	材料处于电场中存储电能能力的测量值
Photomask（光掩模）	在阻挡和传递光线的透明基底上的银卤化物和重氮形成的图像
Photo-resist（光致抗蚀胶）	通过曝光和化学显影来建立图像的光敏感材料
Photo plotter（光绘图仪）	一个高准确性（大于 0.002 英寸）带有可编程光图像投影组件的平板绘图仪。通常用于在尺寸稳定和高对比度的光图像胶片上制造尺寸准确的印制底图母版图形

（续表）

术　语	定　义
Pilot Order（先导序列）	生产过程的第一个生产序列
Pinhole（针孔）	穿透一层或一个图形的小孔
Pitch（节距）	在印制板的任何层相邻的部件和导线之间的标称距离。也就是所谓的“中心至中心间距”
Plated-Through Hole（PTH）（镀覆孔）	电路板中的孔，孔壁镀覆金属（通常是铜）；用于在一块印制电路板中各导电图形层之间的电气连接
Plating（镀覆）	金属的化学或机电淀积在一个图形上
Plating Resists（耐电镀抗蚀剂）	淀积在导电区域上的材料，以防止金属电镀在所掩盖的面积上，抗蚀剂可用网印印料和干膜光聚合物抗蚀剂
Plating Void（电镀空白）	在指定电镀区缺少指定的电镀材料
Plotting（绘图）	将 *x-y* 位置信息机械转换为可视图形，如照相底版
Polymide Resins（聚酰亚胺树脂）	高温热塑料，用来和玻璃一起制造多层板的印制电路压片或者需要高温特性的其他电路应用
Polymerize（聚合）	通过化学方法联合两个或更多的单体或聚合体以形成高分子质量的分子
Positional Limitation Tolerancing（位置极限容差）	规定一个范围，在此范围内允许图形的轴线或中心面与理想位置（理论精确位置）有些变动
Pre-clean（预清洗）	在某步操作之前所采取的清洗操作，用来确保操作的成功
Pre-preg（预浸材料）	含有基材用合成树脂（如环氧或聚酰亚胺）浸渍固化至 B 阶的片状材料（参见 B 阶材料）
Press-Fit Contact（压配合接触件）	一种可以被压入绝缘体、印制电路板（有或没有电镀通孔）、或金属电镀层的电气接触件
Printed Circuit（印制电路）	附在公共基板上的印制元件和印制线路的导电图形
Printed Circuit Board（PCB）（印制电路板）	印制或蚀刻电路板的通称，它包括刚性的和挠性的，单面、双面或多层板
Printed Wiring Board（印制线路板）	由刚性基材做成的部件，在其上面完整的印制布线已经形成
Production Master（生产底版）	带有规定的布设总图精度，用来制造一个或更多印制板（刚性或柔性）的 1：1 比例的图形。（1）单图产品母版：在生产单个印制板过程中使用的产品母版；（2）多图产品母版：在生产两个或更多印制板过程中使用的产品母版
Reflowing（回流）	电沉淀物凝固后的熔化。表面有热镀的现象和物理性质
Registration（重合度）	印制板上图形或一部分图形与其规定位置或与其他导电层位置的一致性程度
Residue（残基）	在生产过程中保留在基底上的残留物质
Resin Smear（树脂钻污）	由钻孔造成的将由基材转移到导电图形的边缘或表面的树脂
Resin-Starved Area（缺胶层）	印制板上树脂数量不足的区域，表现为无光泽、干点和纤维外露
Resist（涂层）	用于遮蔽或防止可选区域的图形受到蚀刻剂、焊锡或电镀作用的涂覆材料
Resistivity（电阻系数）	材料抵抗电流通过的能力
Reverse Image（反像）	印制板上的涂敷图形，使导电区域为接下来的电镀曝光

（续表）

术　　语	定　　义
Rework（返工）	按照规范重新处理成品件
Robber（辅助阴极）	为了使流过电镀组件的电流密度更加均匀，通常在板边区域装设电镀区，也叫“Thief”。辅助阴极使组件得到均匀的电镀覆盖，可以用来吸收组件上不均匀的分布电流
Schematic Diagram（原理图）	用图形符号示出的电气连接、各个元件和电子电路功能的图
Screen（丝网）	以某种图案的形式进行涂敷的布型材料（对于印制板来说，通常为聚酯或不锈钢），通过这种图形的空穴，可决定涂层材料的流动和定位
Screen Printing（网印）	用橡皮滚子使适合的介质通过网报来传送图像到表面的过程
Selective Plate（选择性电镀）	用与保留特性不同的金属电镀单一特性的过程。由成像、曝光以及电镀选择区域实现，并且在印制板的剩下地区重复这一过程
Shadowing（遮蔽）	蚀刻时所发生的一种情况，在这种情况下，虽然已经实施了蚀刻，但是连接铜箔的电介质材料没有被完全剥离
Silk Screening	参见 Screen Printing
Single-Sided Board（单面板）	只有一面有导电体而且没有电镀通孔的电路板
Solder Leveling（焊料整平）	将印制电路板浸入热焊锡中并用热空气使之均匀的过程
Solder Mask（阻焊层）	在印制板上使用的一种涂料，用以防止焊锡流到不应去的地方，或防止与相邻间隔的导体相连
Solder Masking Coating（阻焊涂层）	涂层的非正式称谓
Solder Resists（阻焊剂）	用于遮蔽和绝缘不需要焊锡的电路图部分的涂层
Solderability Testing（可焊性测试）	对金属进行评价，以确定它是否会被焊锡浸润
Squeegee（橡皮滚子）	在丝印层使用的一种工具，使光刻胶和油墨通过网孔
Starvation，Resin（缺胶）	在层压处理后，在基材外观上体现出的树脂的缺乏，表现为织状纹理、光泽差或干斑
Step-and-Repeat（步进重复）	一种采用单图像逐次曝光来制造多图像生产底版的方法
Strip（剥离）	采用化学方法除去已曝光的光刻胶或电镀金属
Substrate（基底）	参见基材
Subtractive Process（减成法）	印制板制造的一种流程，在这一流程中，印制板通过减少现有的金属涂层来制造。另一种相对的流程是加成法
Test Coupon（附连测试板）	在实际印制板图形之外规范制造的样板或测试图形，用来测试以验证某种质量参数而不用损坏实际印制板
Thief	参见 Robber
Tooling Holes（定位孔）	印制板上的两个专用孔，给印制板定位以保证准确贴装元件
Traveler（传播手册）	制造商为某一印制板开的“处方”。它从始至终“游历”于印制板生产的每道工序中。传播手册确定生产过程每道工序，并且给出每一步骤的说明。它能提供可追踪性及历史纪录的信息

（续表）

术　　语	定　　义
Underwriters Laboratory（美国保险商实验室）	消费电子产品的认证机构。参见保险商认证标志
Underwriters Symbol（保险商认证标志）	表示产品已由美国保险商实验所认证的商标
Via（导通孔）	用于内层连接的电镀通孔，但是在其中没有元件引脚或增强性材料
Void（空洞）	在某一局部区域缺少材料（如气泡）
Wave Soldering（波峰焊）	用连续流动和循环的大量焊锡处理已装配印制板的过程
Zero Defects Sampling（零缺陷抽样）	一种基于统计规律品质的属性抽样计划（$C=0$），检查给定的抽样品，如果发现缺陷就可作为拒收整批货物的理由

PCB 制造缩写词[①]

术　语	定　义
AEA	American Electronics Association，美国电子技术学会
ANSI	American National Standards Institute，美国国家标准学会
APICS	American Production and Inventory Control Society，美国生产与库存管理学会
BOM	材料清单
CAD	Computer Aided Design，计算机辅助设计
CAE	Computer Aided Engineering，计算机辅助工程
CAM	Computer Aided Manufacturing，计算机辅助制造
CCA	资金使用授权
CIM	Computer Integrated Manufacturing，计算机集成制造
CLCA	闭环校正措施
CLT	压缩交货时间
Cp，Cpk	过程能力指标
CRP	Capacity Requirement Planning，产能需求规划
DEQ	环境质量部
DFM	可制造的设计
DM	直接金属化
DRS	设计规则软件
ECB	蚀刻电路板
EPA	Environmental Protection Agency，美国环保署
EPC	应急过程变化：当制造过程必须立即变化时，用来告知那些需要了解这些变化的人的一种形式
Er	相对介电常数
FY	财政年度
HASL	热空气焊剂涂匀
HR	人力资源部
HRIS	人力资源信息系统
IPC	互连与封装电子电路协会，专业协会
IPC Design Council	互连与封装电子电路协会设计委员会
ISO	国际标准化组织
ML	多层板

① PCB 制造缩写词经 Merix 公司许可引用（www.MERIX.com）。

（续表）

术　语	定　义
MSDS	材料安全性数据表
NIST	National Institute of Standards and Technology，（美国）国家标准技术研究所
NPI	新产品介绍
OCC	覆有机物铜
OEM	原始设备制造商
OSHA	Occupational Safety and Health Agency，（美国）职业安全和卫生局
OSP	有机可焊防腐剂
P/N	零件编号
PCB	印制电路板
PWB	印制线路板
PSI	特殊零件信息
SME	制造工程师协会
SMI	表面贴装国际，电子商业出版物
SMT	表面贴装技术
SMTA	表面贴装技术协会
SPC	统计过程控制
TQC	全面质量控制
TQM	全面质量管理
UL	Underwriters Laboratory，（美国）保险商实验室
UV	紫外线
WIP	在制品

电子学术语[①]

术　语	定　义
A	“安培”的英文缩写，电流单位
Absorption（吸收）	当能量通过介质传播时出现的损失或衰耗。例如，无线电波通过大气传播时，会损失一些能量
AC	交流的英文缩写
Acceptor Atoms（受体原子）	接受来自五价原子的自由电子的三价原子
AC Coupling（交流耦合）	阻止直流电压通过、传递交流信号的电路
AC/DC	交直流电源双用的设备
AC Generator（交流发电机）	将机械能转换为交流电能的设备
AC Load Line（交流负载线）	表示放大器所有可能的交流输出电压和电流特性的曲线图
AC Power Supply（交流电源）	输出交流电压的电源
Active Component（有源器件）	相对于输入信号，使输出信号的幅度发生改变的器件
Active Filter（有源滤波器）	使用有源器件和运算放大器构成的滤波器，可以传递或阻止选择频率
Active Region（线性区）	用于线性放大的双极结型晶体三极管（BJT）运行在饱和区和截止区之间的区域
AC Voltage（交流电压）	极性交变的电压
ADC	模数转换器的英文缩写
Admittance（导纳）	电气符号为“Y”，用于测量交流电流流过电路的容易程度。导纳是阻抗的倒数，测量单位是西门子
AF	音频的英文缩写
AFC	自动频率控制的英文缩写
AGC	自动增益控制的英文缩写
Alkaline Cell（碱性电池）	一种主要电池，可以比碳锌电池提供更大的电流。也称为“碱性锰电池”
Alligator Clip（鳄鱼夹）	用于临时接线的测试线末端的弹簧夹
Alpha	双极结型晶体三极管（BJT）的集电极电流和发射极电流之比，通常用希腊字母 α 来表示
Alternating Current（交流电流）	一种电流。先按一个方向上升到电流最大值，然后回落为 0，接着上升到反方向电流最大值，并且周而复始地重复此过程
Alternator	交流发电机
AM	幅度调制的英文缩写
Ammeter（安培表）	用于测量电流的表计

① 电子学术语经 Twisted Pair 公司许可引用（www.twysted.pair.com）。

（续表）

术　语	定　义
Ampere（安培）	电流单位
Amplifier（放大器）	使电压、电流以及功率信号得以放大的电路
Amplitude（幅值）	表征一个电流或电压信号的量值和大小
Analog（模拟量）	用不断变化的电压或电流来表示的信息，而不是用离散电平来表示。相对于在两个等级间变化的离散数字量
Anode（阳极）	设备的正电极或正端口。半导体二极管的 P 型材料
Antenna，Transmitting（发射天线）	将电信号转换为电磁波并辐射出去的装置
Antenna，Receiving（接收天线）	将辐射电磁波转换为电信号的装置
Apparent Power（视在功率）	交流电路里不同时间达到峰值的电压和电流有效值的乘积
Arc（电弧）	气体的电气放电现象，如闪电穿过大气
Armature（电枢）	磁路中旋转或移动的元件
Amstrong Oscillator（阿姆斯特朗振荡器）	用一个隔离变压器达到输出对输入正反馈效果的振荡器
Astable Multivibrator（非稳态多谐振荡器）	一种输入为直流，可产生方波输出的振荡器
Atom（原子）	元素可被分解的仍能保持其同一特性的最小颗粒
Atomic Number（原子数）	原子核中正电子或质子的数目
Attenuate（衰减）	减小效应或信号的幅度，放大的反义
Audio（音频）	与人耳所能听到的频率接近的声音，其范围大约在 20Hz～20kHz
Autotransformer（自耦变压器）	一个单线圈变压器，其输出接到线圈的分接头上
Average Value（平均值）	一种电流或电压数值的表示方式。对于一个周波来说，在数值之上的波形面积等于在此数值之下的波形面积
AVC	自动音量控制的英文缩写
Avionics（航空电子学）	航空领域的电子学
AWG	美国导线规范的英文缩写。指定导线直径数值的一种规范
Balanced Bridge（平衡桥）	当桥电路被调整为输出为 0 时的状态
Band-pass Filter（带通滤波器）	设计为通过频带在低截止频率(f_1)和高截止频率(f_2)之间信号的调谐电路。比通过频带的频率高或低的信号在通过此滤波器后严重衰减
Band-stop Filter（带阻滤波器）	设计为阻止频率在低截止频率(f_1)和高截止频率(f_2)之间信号的调谐电路。当通过其他频率的信号时，此滤波器变成放大器
Band width（带宽）	信号衰减到一半的两个频率点之间的频带宽度
Barrier Potential（势垒电势）	存在于横跨前置偏移 PN 结的自然电势差
Base（基极）	位于双极性连接三极管（BJT）的发射极和集电极之间的区域
Base Biasing（基极偏置）	偏置 BJT 的一种方法。偏置电压通过一个电阻施加到基极
Battery（电池）	包括两个以上可将化学能转化为电能单元的直流电压源

（续表）

术　语	定　义
Baud（波特）	信号速度等于每秒信号量数目的一种单位。与每秒位数不同
Beta（贝塔）	β，BJT 集电极电流与基极电流之比
Bias（偏压）	给设备供电并控制其操作的一种直流电压
Binary（二进制）	只有 0 和 1 两个码元的一种数字系统。基本的二数系统
BJT（双极结型晶体管）	一种由基极控制发射极到集电极电流的三端器件
Bistable Multivibrator（双稳多谐振荡器）	带有两种稳定状态的多谐振荡器。要将输出从一种状态变化到另一种状态，需要施加一个外部信号。也称为锁存器
Bleeder Current（泄漏电流）	不断从电源流出的电流。泄漏电流通常用来稳定电源的输出电压
Bode Plot（伯德图）	增益频率曲线图
Branch Current（分支电流）	全电流的一部分流入并联电路的一个通路
Breakdown Voltage（击穿电压）	使绝缘和电介质发生破坏的电压
Breakover Voltage（转折电压）	造成二端交流开关(diac)被击穿并导电的最小电压
Bridge Rectifier（桥式整流器）	用四个二极管提供全波整流的电路。可将交流电压转化为脉动直流电压
Buffer（缓冲器）	用于隔离负载与电源的放大器
Bulk Resistance（体电阻）	P 类型和 N 类型半导体材料的自然电阻
Butterworth Filter（巴特沃思滤波器）	一种典型的有源滤波器。其特征是通过电路的中心频带的信号有稳定的增益(平坦响应)以及电路中的各极都有每十倍频率 20dB 的衰减率
BW	带宽的英文缩写
Bypass Capacitor（旁路电容）	用于在电路中的某一点提供交流接地的电容
Byte（字节）	8 个二进制位的组合
Cable（电缆）	两条以上绝缘导线的组合
CAD	计算机辅助设计的英文缩写
Calibration（校准）	通过与标准的比较来纠正读数的数值
Capacitance（电容）	电容存储电荷的能力。电容的基本单位是法拉
Capacitive Reactance（容抗）	电容电流的阻尼。容抗的测量单位是欧姆，并且随频率的变化反向变化
Capacitor（电容）	一种具有容抗的电子元器件
Capacitor Microphone（电容话筒）	一种话筒，其工作取决于电容量的变化，这种变化是由作用于电容移动极上变化的空气压力而造成的
Carbon-film Resistor（碳膜电阻）	通过在陶瓷造型上沉积一片薄的碳膜而成的电阻
Carbon Microphone（碳质话筒）	一种话筒，其工作取决于碳粒压力的变化所造成的电阻的变化
Carbon Resistor（碳质电阻）	由一种先模制后焙烤的黏合剂与碳粒的混合体制成的固定阻值的电阻
Cascaded Amplifier（串级放大器）	一种在串联配置下有两级以上排列的运算放大器
Cascode Amplifier（栅地阴地放大器）	一种由共源极运算放大器与共栅极运算放大器在其漏极相连而组成的运算放大器
Cathode（阴极）	器件的负极，二极管 PN 结的 N 区

（续表）

术　语	定　义
Cathode Ray Tube（CRT，阴极射线管）	以可视形式显示数据的真空管。电视机或计算机终端的显像管
Cell（电池）	将化学能量转换为直流电压的装置
Crystal（晶体）	天然的或人造的压电或半导体材料，其中原子呈现出一定程度的几何规则排列
Crystal-Controlled Oscillator（晶控振荡器）	用反馈路径中的石英晶体来维持稳定的输出频率的振荡器
Current（电流）	电子流过导体产生电流，单位为安培。也被称为电子流
Current Amplifier（电流放大器）	增加信号电流的放大器
Current Divider（电流分配器）	用来分配电路中总电流的平行网络
Current Feedback（电流反馈）	反馈结构中一部分输出电流又反馈回放大器的输入端
Current.Limiting Resistor（限流电阻）	电流通路中的电阻，用以限制设备产生的电流量
Current Mirror（电流镜射）	B 类放大器中基极直流电流大致与集电极直流电流相等的描述
Cutoff（截止状态）	使有源器件偏置得输出电流接近零或小于零的状态
Cutoff Frequency（截止频率）	放大器的功率增益降低到低于 50%最大值时的频率
Cycle（周期）	循环的波形从零变化到正的最大值又回到零，再至负的最大值又回到零。这称为完成一个周期
DAC	数模变换器的缩写
Damping（阻尼）	由于能量转化为热能消耗而产生的振荡幅度的减小
Darlington Pair（达林顿对）	由两个双极结型晶体管组成的放大器，其中，两个集电极连在一起，而一个的发射极与另一个的基极相连。电路有极大的电流增益和输入阻抗
DC	直流电流的缩写
DC Load Line（直流负荷曲线）	描述放大器在给定负荷电阻下电压与电流关系的曲线
DC Offset（直流偏移）	当不需放大器有输出信号时调整输入电压以使输出电压为零
DC Power Supply（直流电源）	供给电器件直流电能的任何源
Dead Short（完全短路）	短路阻抗为零的短路
Decade（十进制）	进位因数为十
Decibel (dB)（分贝）	增益或损耗的对数表示
Degenerative Feedback（衰退反馈）	也称负反馈。放大器输出的一部分经反向引入输入。可以控制放大器的增益并减少失真和噪声
Delay Time（延时）	在 BJT 整流电路中集电极电流达到最大值 10%的时间
Depletion Region（耗尽区）	PN 结中电子或空穴已耗尽的区域
Depletion Mode（耗尽型）	场效应晶体管中利用反向栅源极电压来阻碍自由带电体运动的工作模式。可以缩小带电体运动通道并增加阻抗
Depletion-Mode MOSFET	（耗尽型金属氧化物半导体场效应晶体管）工作于耗尽模式或增强模式的金属氧化物半导体场效应晶体管

（续表）

术　语	定　义
Device（元器件）	元件或器件
Diac（两端交流开关元件）	双向半导体闸流管。两端开关对称
Dielectric（电介质）	两段电镀之间的绝缘物质，内部存在静电场
Dielectric Constant（介电常数）	电介质单位电压下每单位体积能储存的静电场能量
Dielectric Strength（电介质强度）	电介质不被击穿所能承受的最大电压
Differential Amplifier（差分放大器）	输出与两输入端电压差成正比的放大器
Differentiator（微分器）	输出电压与输入电压的变化率成正比的电路。高通 RC 电路
Diffusion（扩散）	导带电子通过自由运动穿过 PN 结与价带空穴结合的趋势
Digital（数字的）	仅有两个离散值输出的元器件或电路的特性。如 0 或 1，高或低，开或关，真或假等
Diode（二极管）	只有单向可导通的两端元件
DIP	双列直插封装的缩写
Direct Coupling（直接耦合）	当一个放大器的输出直接与另一个放大器的输入相连或直接与负载相连时可称为直接耦合。也被称为 DC 耦合，因为 DC 信号是不会被阻碍的
Direct Current（直流电流）	仅单向流动的电流
Discharge（放电）	电池或电容器所储存的电能释放
Discrete Component（离散元器件）	相对于在一个组件中包含很多元器件的完整电路而言，只有一个元器件的组件
Dissipation（损耗）	电能以热能形式释放
Distortion（失真）	波形或信号不希望发生的变化
Distributed Capacitance（分布电容）	非电容器所产生的电容。如绕组相邻线圈之间的电容
Distributed Inductance（分布电感）	非电感器所产生的电感。如任何导体之间的电感
Domain（磁区）	磁化物质中的可移动磁化区。也被称为磁畴
Donor Atoms（施主原子）	在 N 型半导体材料中将电子施与传导带的五价原子
Doping（掺杂）	在本征硅或锗中加入杂质原子以增强半导体材料的导电性
Dot Convention（极性端惯例）	关于变压器的一种标识，以表示出与原边电压极性相同或相反的副边端子
Drift（漂移）	在调谐放大器中由于温度或元器件变化引起的调谐电路频率的变化
Dropping Resistor（降压电阻器）	用于降低或产生电压的可调电阻
Dry Cell（干电池）	用非液态电解质产生的提供直流电压的化学电池
Dual In-Line Package（双列直插封装）	有两行连接引脚的元件封装
Dual Trace Oscilloscope（双踪示波器）	可同时显示两路信号的示波器
Dynamic（动态的）	条件变化的
E-core（E 形铁心）	有字母“E”形状的层压铁心，在上面缠绕线圈以构成电感或变压器
Eddy Currents（涡流）	变化的磁场在铁心中产生的电流。涡流产生热量从而会消耗电能且降低电感的效率
Efficiency（效率）	放大器传递给负载的功率与向电源需要功率的百分比

（续表）

术　语	定　义
Electric Charge（电荷）	材料表面储存的电能。也被称为静电荷
Electric Field（电场）	两个电压或电势间存在的场或力。也称为静电场
Electricity（电）	科学说明一些粒子带有力场或电荷。电子所带电荷为负电，质子所带电荷为正电电可归为两类，静态的和动态的。静电与静止的电荷相关，动态电与运动的电荷相关
Electric Polarization（电极化）	放置于电场的电介质中的束缚电荷的位移
Electroacoustic Transducer（电声换能器）	实现电能与声波的互相转换的器件。如扩音器、耳机等
Electroluminescence（电光转换）	电能转化为光能
Electrolyte（电解质）	导电的液体（湿的）或固体（干的）
Electrolytic Capacitor（电解电容）	在两极间有电解质的电容。一薄层氧化物仅沉积于阳极上。氧化物即是电容的电解质。电解电容有极性，因此连接时极性必须正确以防止击穿
Electromagnet（电磁铁）	线圈通常缠绕的软铁或铁心。当电流流过线圈边产生磁场。铁心为磁力线提供路径，磁场得以集中
Electromagnetic Communication（电磁通信）	两点间使用电磁波来传递信息。也被称为无线通信
Electromagnetic Induction（电磁感应）	由于线圈和磁力线之间的相对运动所产生的线圈中的电压
Electromagnetic Spectrum（电磁波频谱）	表示电磁辐射范围的图形或表格
Electromagnetic Wave（电磁波）	包含电和磁变化的波形
Electromagnetism（电磁学）	有关电流流过导体时产生磁场的学科
Electromechanical Transducer（机电换能器）	将电能转化为机械能的设备（电动机）或将机械能转化为电能的设备（发电机）
Electromotive Force（EMF）（电动势）	两端间的电势差所产生的导致电子运动的力
Electron（电子）	最小的带负电的亚原子颗粒，围绕原子核旋转
Electron Flow（电子流）	自由电子向正端移动所产生的电流
Electrostatic（静电学）	关于静电的学科
Electrostatic Field（静电场）	由静电电荷所产生的力场
Emitter（发射极）	双极结型晶体管中的半导体区域，载流子由此注入到基极
Emitter Feedback（射极反馈）	双极结型晶体管中由发射极输出至基极输入的耦合
Emitter Follower（射极跟随器）	共集电极放大器。有很大的电流增益、很大的输入阻抗和小的输出阻抗
Energized（通电的）	与电压源连接，使装置通电
Engineering Notation（工程计数法）	一个浮点系统，在该系统中将数字表示成乘积形式
Enhancement-Mode MOSFET（增强型金属氧化物半导体场效应晶体管）	当栅极电压为零时通道中没有带电体的场效应管

（续表）

术　语	定　义
Equivalent Resistance（等效电阻）	电路中所有电阻组成的总电阻
Fall Time（下降时间）	由峰值电压的 90%下降到 10%所需的时间
Farad（法拉）	电容的基本单位
Feedback（反馈）	放大器输出信号中的一部分又返回到该放大器的输入端
Feedback Amplifier（反馈放大器）	有从输出返回到输入的路径的放大器
Ferrite Bead（铁氧体磁环）	铁氧体形成的环状物。在其上缠绕电线以增强电线电感
Ferrite-Core Inductor（铁氧体心电感）	线圈缠绕于铁氧体心所构成的电感
Ferrites（铁氧体）	由铁氧化物、金属氧化物或陶瓷组成。金属氧化物包括锌、镍、钴或铁
Ferrous（含铁的）	由铁组成或含有铁的。相对于不含铁的物质，含铁的物质呈现出磁性
Fiber Optics（纤维光学）	两点间用细的玻璃光学纤维传递包含信息的激光
Field Effect Transistor (FET)（场效应晶体管）	电压控制晶体管，其中源极到漏极的传导由栅源极电压控制
Filament（灯丝）	流通电流时能发热发光的细的碳丝或钨丝
Filter（滤波器）	由电容、电阻或电感组成的网络，可用于传递一定频率的信号并阻隔其他频率的信号
Flip Flop（双稳态多谐振荡器）	双稳态多频振荡器。有两个输出状态，且由外部信号(触发)来进行两输出状态间的转换
Floating Ground（悬浮地）	电路中将电流的返回路径共接，但并不接地
Flow Soldering（流动焊接）	通过在熔化的电焊波上移动印制电路板来进行印制板焊接。也称波峰焊接，用于大规模电子电路装配
Flux（助焊剂）	准备焊接时用以去掉金属表面氧化层的物质
Flux（磁通）	磁学中由磁力线组成磁场
Flux Density（磁通密度）	磁力线的集中程度，决定磁场的强度
Flywheel Effect（飞轮效应）	LC 电路中振荡的持续效应
Forward Bias（正向偏置）	允许电流流通的 PN 结偏置。正向偏置减小耗尽层的电阻
Free Electrons（自由电子）	未围绕在原子核的轨道上的电子
Free Runing Multivibrator（自激多谐振荡器）	无信号输入时可产生连续输出波形的多谐振荡器。方波发生器可用于产生时钟信号
Frequency（频率）	周期波的重复发生率。单位为赫兹(每秒几周)
Frequency-Division Multiplex (FDM)（频分多路复用）	通过每路信号的不同频段实现两路或多路信号的同一路径传输
Frequency-Domain Analysis（频域分析）	用画出振幅对频率的图形来代表波形的一种方法
Frequency Meter（频率计）	用来测量周期波频率的表计

（续表）

术　语	定　义
Frequency Multiplier（倍频器）	一种谐波转换电路，其输出波形的频率是输入频率的整数倍
Frequency Response（频率响应）	电路对所施加的不同频率的响应情况
Frequency Response Curve（频率响应曲线）	不同频率下的振幅图形，可以反映电路对不同频率的响应情况
Full-Scale Deflection（满刻度偏差）	表计指针指到满刻度时的偏差
Full-Wave Rectifier（全波整流器）	使用包括正负半周的整个波形的整流器
Function Generator（函数发生器）	可以产生正弦波、方波、三角波和锯齿波等波形信号的发生器
Fundamental Frequency（基频）	复合波形中的最低频率
Fuse（熔断器）	电路中的保护设备，当电流超过预期最大值时熔断
Gain（增益）	电压、电流或功率的增加。增益表示为放大器的输出与相应的输入的比值
Gain Bandwidth Product（增益带宽乘积）	表明可能产生的最大增益和带宽的装置参数。装置的增益带宽乘积等于装置的单位增益频率（f_{unity}）
Gamma Rays（伽马射线）	从放射性物质中发出的高频电磁放射粒子
Ganged（同轴联动）	两个或多个电容器、开关、电位计或任何其他的可调元件进行机械连接
Gas（气体）	一切无形的或具有完全弹性的流体，既不是固体也不是液体。当液体加热至超过其沸点时变成气体
Geiger Counter（盖格计量器）	用来探测核粒子的装置
Generator（发电机）	实现机械能到电能的转换设备
Giga（吉）	十亿的公制前缀
Ground（地）	电系统或电路与地或充当地作用的物体间的故意的或意外形成的连接。地通常作为电路中的导线共接点或参考点
Gunn Diode（耿氏效应二极管）	使用耿氏效应来产生微波频率振荡或放大微波频率信号的半导体二极管
H-Parameters（H 参数）	混合参数。描述特定情况下元器件运行极限的晶体管参数
Half Power Point（半功率点）	功率值为最大值 50%时的频率。也即对应于最大电流的 70.7%的频率点
Half Wave Rectifier（半波整流）	将交流周波的正半周或负半周消去的二极管整流器
Harmonic（谐波）	频率为基频的整数倍且幅值较小的正弦波。例如，880Hz 是 440Hz 的二次谐波，880Hz 是 220Hz 的四次谐波
Hartley Oscillator（哈特莱振荡器）	在反馈回路中使用带抽头电感的振荡器
Henry（亨利）	电感的基本单位
Hertz（Hz）（赫兹）	频率的单位。1 赫兹等于每秒一周
High Fidelity（Hi Fi）（高保真）	输出的声音与原声尽可能接近的声音再现设备
High-Pass Filter（高通滤波器）	设计截止频率以上的频率信号均能通过的调谐电路。低于截止频率的信号被拒绝通过或削弱
High Tension（高压）	千伏及千伏以上的危险电压
Hole（空穴）	共价结合物中当价电子获得足够能量后离开共价结合物后所剩下的空位

（续表）

术　语	定　义
Hologram（全息图）	激光制作的三维图
Holography（全息学）	与三维光学记录相关的科学
Horizontally Polarized Wave（水平极化波形）	在水平平面上有电场的电磁波
Hybrid Circuit（混合电路）	在一个微电子电路中结合了两种工艺（无源的和有源的或分立的和集成的元器件）的电路。无源元器件通常由薄膜工艺制成，而有源元器件通常由半导体工艺制成
Hysteresis（磁滞现象）	物体的磁化滞后于由分子摩擦所产生的磁化力的程度。在施密特触发电路中为高低触发点之间的差别
IC	集成电路的缩写
IC Voltage Regulator（IC 稳压器）	用来维持在大的负载变化下电源输出电压恒定的三端器件
IGFET（绝缘栅场效应晶体管）	绝缘栅场效应晶体管。也称为金属氧化物半导体场效应晶体管
Impedance（阻抗）	表示电流流通电路时所受到的全部阻力，单位为欧姆。阻抗为电阻和电抗的矢量和
Impedance Coupling（阻抗耦合）	通过电感等这样的一个阻抗的使用来实现两个信号放大电路之间的耦合
Impedance Matching（阻抗匹配）	使电源输出阻抗与负荷的输入阻抗相匹配以得到最大的功率传输
Incandescence（炽热）	物体加热到一定程度会发光的状态（白热或红热）
Induced Voltage（感应电压）	置于运动的电磁场中的导体所产生的电压
Inductance（电感）	导体的阻止电流变化的特性。电流变化所产生的运动的电磁场会引起阻碍这种变化的自感电压
Inductive Circuit（电感电路）	感抗远大于容抗的电路
Inductive Reactance（感抗）	电感产生的阻碍交流电流流通的阻力。单位为欧姆且于频率成正比
Inductor（电感器）	用来在电路中产生电感的导体长度。导体通常绕成线圈来集中磁力线并使电感最大化。任何导体都有电感，通常所说的电感器指的是线圈
Infrared（红外线）	电磁热辐射，频率高于微波频率且低于可见红色光波频率
Inhibit（抑制）	阻止运动或阻碍数据的通过
In Phase（同相）	两个或多个频率相同的波形同时达到它们的正负峰值
Input Impedance（输入阻抗）	在电路或负载的输入端阻止信号电流通过的阻力
Insulated（绝缘的）	用不导电的物质隔开导体
Insulating Material（绝缘材料）	由化合物组成导致电流无法流通的材料
Insulation Resistance（绝缘电阻）	绝缘材料的电阻。绝缘电阻越大，绝缘性能越好
Integrated（集成的）	两个或多个元器件被集中至一个电路且被合并成一个模块
Integrator（积分器）	近似电路，输出与输入信号的积分成正比。低通滤波器
Intermediate Frequency Amplifier（中频放大器）	超外差式无线电接收装置中，固定频率的信号可被放大，此频率低于可接收无线电通信频率且高于音频
Intermittent（随机故障）	随机发生的故障。因为其随机性，所以此类故障通常很难定位。技师检查时通常很难再发生

（续表）

术　语	定　义
Internal Resistance（内阻）	每个电源都有的与输出电流相关的电阻。电源供给的电流流经内阻其上的压降会造成功率损耗。通常被称为输出阻抗或输出电阻
Intrinsic Material（本征材料）	具有电特性尤其是理想纯晶体特性的半导体材料。检测不到杂质的高精硅或高精锗属此类材料
Intrinsic Stand-Off Ratio（分压比）	单结晶体管特性，可以决定器件的激发电压
Inverting Amplifier（反相放大器）	输出波形与输入波形相差 180°的放大器
Inverting Input（反相输入端）	运算放大器中有负号标识的输入端。一个信号加到反向输入端，将使输入与输出间有 180°的相移
Ion（离子）	轨道中电子数量小于质子数量的原子成为正离子。轨道中电子数量大于质子数量的原子成为负离子
Ionized（电离）	当原子得到或失去价电子即被电离
j	用以表明虚数的前缀（算子 j）
Jack（插孔）	插头可以插入的插座或连接器
JFET	结型场效应晶体管的缩写
Joule（焦耳）	功和能量的单位
Junction（结）	两条或多条电线和电缆的连接处。半导体材料中 P 型材料和 N 型材料的连接区域
Junction Diode（结型二极管）	N 型材料和 P 型材料之间的结中发生整流效应的半导体二极管
Kilovolt-Ampere（千伏安）	1000 伏乘以 1 安
Kilowatt-Hour（千瓦小时）	1 千瓦用 1 小时
Kilowatt-Hour Meter（电度表）	电力公司用来测量用户所用电能的装置
Kinetic Energy（动能）	与运动相关的能量
Kirchoff's Current Law（基尔霍夫电流定律）	电路中流进节点的电流之和与流出该节点的电流之和相等
Kirchoff's Voltage Law（基尔霍夫电压定律）	闭合回路中的压降的代数和与电源电压的代数和相等
Knee Voltage（拐角电压）	特性曲线中两段较直的电压曲线交汇处的电压。对于 PN 结二极管，拐角电压指特性曲线的前向工作区中传导性开始突增时的电压。对于齐纳击穿二极管，拐角电压通常指齐纳击穿电压值
Lag（滞后）	两个同频率波形之间的相角差。例如，一个波形之后另一个波形固定的角度
Laminated Core（叠片铁心）	由片状磁性材料组成的磁性材料，其中片状磁性材料之间通过氧化物或清漆彼此绝缘
Laser（激光器）	产生很细很强烈的光束的器件
Lead（超前）	一个变化信号的相角比另一个信号靠前。与滞后的含义相反
Lead-Acid Cell（铅酸蓄电池）	由浸入了硫酸电解液的铅板所制成的电池。一个汽车电池通常由六个铅酸电池组成
Leakage（泄漏电流）	小量的不需要的流经绝缘体或介质的电流

（续表）

术　语	定　义
LED 发光二极管的缩写	
Lenz's Law（楞次定律）	由于磁场变化在一个电路中产生电流的方向是反对磁通变化或施加一机械力反对运动
Level Detector（电平比较器）	比较两输入并且输出反映两输入极性关系的直流输出的运算放大电路
Lie Detector（测谎器）	又称为多种波动描记器的设备，通过观察一个人回答问题时的血压、体温、呼吸率、心跳率和皮肤湿度等的变化来检查其是否说谎的设备
Light（光）	肉眼能感受的一定频段的电磁辐射
Lifetime（寿命）	从电子空穴对产生到再结合之间的时间
Light-Emitting Diode（发光二极管）	当 PN 结前向偏移时能将电能转化成可见的接近红外线频率的电磁辐射的半导体二极管
Limiter（限幅器）	阻止输入中的某些部分输出的电路或装置。又可称为削波器
Linear（线性）	输出与输入成正比
Linear Scale（线性刻度）	刻度平均分配
Line Regulation（线路调整率）	当输入电压变化时，稳压器可维持输出电压恒定的能力
Live（有电的）	表示电路或设备一部分是接通的且有电流流通
Load（负载）	电源驱动负载。任何与电源相连且由电源供给电流的电路或设备都可称为此电源的负载
Load Current（负载电流）	电源供给负载的电流
Load Impedance（负载阻抗）	负载的电阻和电抗的矢量和
Loading Effect（负荷效应）	大的负载阻抗引起很小的负载电流，因此电源的负荷很小(轻载)。小的负载阻抗引起大的负载电流(重载)
Load Regulation（负载调整率）	负载电流变化时稳压管维持恒定输出电压的能力
Load Resistance（负载电阻）	负载的电阻
Logic（逻辑学）	与门、继电器和开关等的原理和应用相关的科学
Loss（损耗）	用来描述电能减少的名词
Low-Pass Filter（低通滤波器）	频率低于设计截止频率的信号均能通过的调谐电路
Magnet（磁铁）	可用于吸引或排斥磁性材料的物体
Magnetic Circuit Breaker（磁路开关）	由电磁铁触发的电路开关
Magnetic Coil（电磁线圈）	导线的螺旋状线圈被称为电磁铁
Magnetic Core（磁心）	电磁线圈中间的物体，既可物理支撑线圈(非磁性材料)又可集中磁通(磁性材料)
Magnetic Field（磁场）	从磁场北极指向南极的磁力线
Magnetic Flux（磁通）	由磁体产生的磁力线的通量
Magnetic Leakage（磁漏）	不能做有效功的磁通通路
Magnetic Poles（磁极）	磁体上磁力线的起点(N 极)或终点(S 极)
Magnetism（磁性）	一些物体吸引或排斥其他物体的特性

（续表）

术　语	定　义
Magnetizing Force（磁化力）	也叫磁场强度。指在磁路中任意给定点的每单位长度的磁动势
Magnetomotive Force（磁动势）	产生磁场的力
Majority Carriers（多数载流子）	N 型材料中的传导带电子和 P 型材料中的价带空穴。由 N 型材料中的五价杂质和 P 型材料中的三价杂质产生
Matched Impedance（匹配阻抗）	当电源的输出阻抗和负荷的输入阻抗相等的情况
Matching（匹配）	可传输最大功率的两个元器件或电路的连接
Maximum Power Transfer（最大功率传输）	说明当电源的输出阻抗和负荷的输入阻抗相等时电源到负荷之间传递的功率最大的定理
Maxwell（麦克斯韦）	磁通量单位
Mercury Cell（汞极电池）	用汞氧化物阴极、锌阳极和氢氧化钾电解液制成的一次电池
Metal Film Resistor（金属膜电阻器）	金属氧化物或金属合金薄膜沉积于绝缘层上构成的电阻
Metal Oxide Field Effect Transistor (MOSFET)（金属氧化物半导体场效应晶体管）	栅极和沟道间的绝缘层是金属氧化物层的场效应晶体管
Metal Oxide Resistor（金属氧化物电阻）	金属氧化物薄膜沉积于绝缘层上构成的电阻
Meter（仪表）	任何电力或电子测量仪器
Meter FSD Current（电表满刻度偏移电流）	电表指至满刻度时的电表电流
Meter Resistance（仪表电阻）	仪表电枢线圈的直流电阻
Mica Capacitor（云母电容）	用云母作为电介质的电容
Microphone（扩音器）	可以将声波能量转换为电能的电声转换器
Microwave（微波）	波长很短的无线电波。在 UHF、SHF 和 EHF 的波段内
Midband Gain（通带中点增益）	放大器工作于其带宽范围内的增益
Midpoint Bias（中点偏移）	放大器在其直流负荷曲线中点处偏移
Mil（千分之一英寸）	一英寸的千分之一
Miller's Theorem（米勒定律）	描述可将反馈电容视为等效输入和输出并联电容的定律
Minority Carriers（少数载流子）	N 型材料中的传导带空穴和 P 型材料中的价带电子。大多数的少数载流子由温度而不是由杂质的掺入所产生
Mismatch（失配）	用来表示电源的输出阻抗和负荷的输入阻抗之间差异的词。失配情况下电源和负荷间不能传输最大功率
Modulation（调制）	用一个信号（例如音频信号）来修正载波高频信号（如无线电信号）中的某些特性的过程
Monostable Multivibrator（单稳多谐振荡器）	是一种定时器，有一个稳定输出状态的多谐振荡器。触发后，经过一段预期时间的不稳定输出状态后变化到稳态输出

（续表）

术　语	定　义
Molecule（分子）	物体中的保持本身属性的最小粒子
MOSFET	金属氧化物半导体场效应晶体管（也被称为绝缘栅场效应晶体管）的缩写。栅极和沟道之间绝缘层是金属氧化物层的场效应晶体管
Moving Coil Microphone（动圈式话筒）	使用固定磁场中的移动线圈做成的传声器。动态传声器
Moving Coil Pick-Up（动圈式拾音器）	动态电唱机拾音器，其中，唱针用来引起线圈在固定磁场中的运动
Moving Coil Loudspeaker（动圈式扬声器）	使用放置在固定磁场中的移动音圈构成的扬声器。也被称为动态扬声器
Multimeter（万用表）	可实现多种测量功能的电测量仪表。典型万用表可以测量电压、电流和电阻。复杂的先进万用表可测量电容、电感、晶体管的电流增益和任何可以被电子测量的其他量
Multiplier Resistor（增效电阻）	与线圈仪表串联用来增大测量电压量程的电阻
Multisegment Display（多段式显示器）	由几个发光二极管按照数字或字母形式进行排列用以显示的器件。通过选择发光段，数字和字母可以被显示
Multivibrator（多谐振荡器）	设计用来产生方波和脉冲的一类电路。非稳态多谐振荡器在没有外部激励或触发时能产生持续的脉冲。单稳态多谐振荡器在触发后经过一预期时间可产生一个脉冲。双稳态多谐振荡器产生一个高或低的稳定输出。双稳态多谐振荡器需要外部激励或触发来改变其状态（由高变低或由低变高的输出状态）
Mutual Inductance（互感）	一个电感的磁力线交连至另一个电感器的能力
N-Type Semiconductor（N 型半导体材料）	在五价元素中掺入本征半导体材料构成的半导体化合物。N 型材料有多余的导带电子
Negative（负端）	有多余电子的一端
Negative Charge（负电荷）	电子数量多于质子的电荷
Negative Feedback（负反馈）	放大器的反馈信号与其输入信号相差 180°的反馈。用来增加放大器的稳定性、带宽和输入阻抗。也可以减少失真
Negative Ground（负地）	电源负端与系统的金属底盘相连接的系统
Negative Ion（负离子）	轨道中的电子数量比原子核中的质子数量多的原子
Negative Resistance（负电阻）	当流过其的电流增加时其上的压降降低的电阻
Negative Temperature Coefficient（负温度系数）	当温度增加时其电阻和电容减小的元件的特性
Neon Bulb（氖管）	注入氖气的容器，当加上电压氖气电离后会变红
Network（网络）	相连的元器件、电路或系统的联合体
Neutral（中性）	电荷平衡的一端、点或物体。不带正电也不带负电
Neutral Atom（中性原子）	其中的负电荷（轨道中的电子）数量与正电荷（原子核中的质子）数量相等的原子

（续表）

术　语	定　义
Neutral Wire（中性线）	多相或单相三线电路中具有地电位的线。此线与电路中其他相线的电势差幅值接近相等且相角差相等
Neutron（中子）	原子核中的亚原子粒子，不带电荷
Nickel-Cadmium Cell（镍镉电池）	用镍氧化物作为正极且用镉氧化物作为负极的二次电池
Node（节点）	电路中的汇合点或分支点
Noise（噪声）	电气或机械系统中不必要的电磁辐射
Non-Inverting Input（非反相输入）	输入和输出信号间没有反相的运算放大器电路
Non-Linear Scale（非线性刻度）	刻度间隔不相等的刻度
Normally Closed（常闭的）	开关或继电器的触点，在通常情况下的状态是闭合的或连接的。当激励后，触点打开或分离
Normally Open（常开的）	开关或继电器的触点，在通常情况下的状态是打开的或不连接的。当激励后，接触点闭合或连接
North Pole（N 极）	磁体的一极，磁力线的起点
Norton's Theorem（诺顿定律）	电压源和电阻组成的网络可以被一个单独的电流源和一个电阻并联所替代
Notch Filter（陷波滤波器）	一段窄带频率不能通过，而高于和低于此窄带的频率信号均能通过的滤波器
NPN Transistor（NPN 晶体管）	P 型基极元素在 N 型发射极和 N 型集电极之间的双极结型晶体管
Nucleus（原子核）	原子的核心。原子核包含带正电的亚原子粒子（质子）和中性的亚原子粒子（中子）
Octave（倍频程）	倍频程频率比率为 2∶1 的两个频率的间隔（例如，440Hz 频率是 220Hz 的一个倍频程）
Offset Null（偏移量至零）	运算放大器的一个控制引脚，用于消除内部元件电压影响到装置输出
OHM（欧姆）	用希腊字母表示的电阻单位
Ohmmeter（欧姆计）	用来测量电阻的仪表
Ohm's Law（欧姆定律）	电压、电流和电阻之间的关系。欧姆定律阐明电阻中的电流和其上的电压成正比且同电阻成反比
Op-Amp	运算放大器的缩写
Open Loop Gain（开环增益）	当无反馈时的放大器的增益
Open Loop Mode（开环状态）	不将输出和输入进行比较（无反馈）的放大器电路
Operational Amplifier（运算放大器）	高增益直流放大器，有很大的输入阻抗和很小的输出阻抗。运算放大器是一种最基本的线性集成电路
Oscillate（振荡）	没有输入信号时能产生连续的输出波形
Oscillator（振荡器）	只加上直流时能产生连续输出波形的电子电路
Oscilloscope（示波器）	用于曲线显示信号的设备。可示出信号的幅值、周期和波形以及任何的直流电压。多迹示波器可以同时显示两路或多路波形以进行相角比较和定时测量

（续表）

术　语	定　义
Out of Phase（异相）	两个或多个波形的最大值和最小值不同时出现的情况
Output（输出）	元器件、电路或设备传送电流、电压或功率的一端
Output Impedance（输出阻抗）	无负荷连接下在装置输出端测得的阻抗
Output Power（输出功率）	元器件、电路或系统所传送给负载的功率
Overload（过负荷）	当实际负荷比系统实际设计所能承受的负荷（负载阻抗太小，负荷电流太大）大时的一种状态。过负荷导致波形失真或过热
Overload Protection（过负荷保护）	当电流超过预定值时自动切断负荷的熔断器或断路器等保护装置
Paper Capacitor（纸质电容器）	用油浸或石蜡纸作为电介质的固定电容器
Parallel（并联）	有两个或多个电流流通路径的电路。也被称为分流
Parallel Resonant Circuit（并联谐振电路）	由一个电感和一个电容并联组成的电路。电路在谐振频率时有很高的阻抗。有时也被称为“振荡电路”（Tank Circuit）
Pass Band（通带）	可以被调谐放大器导通和放大的频率范围。也是带通滤波器的可导通范围
Passive Component（无源元件）	不能放大信号的元件。例如电阻和电容
Passive Filter（无源滤波器）	仅包含无源和非放大元器件的滤波器
Passive System（无源系统）	不释放能量的系统。仅接收能量
Peak（峰值）	最大或最高的幅值水平
Peak Inverse Voltage（PIV）（反向峰值电压）	在器件非导通方向上的最大直流电压
Peak to Peak（峰值差）	在交流波形中正的最大值和负的最大值之间的差异
Pentavalent Element（五价元素）	原子有五个价电子的元素。用来掺进本征硅或锗来生成 N 型半导体材料。最常使用的五价材料是砷和磷
Percent of Regulation（电压调整百分比）	先求出直流电压源空载和满载时输出电压之差，将此差除以空载时的输出电压值后再乘以 100，即得到电压调整百分比
Percent of Ripple（纹波系数）	纹波电压的有效值和总电压的平均值之比即为纹波系数，用百分比形式表示
Period（周期）	周波的一周完整波形的持续时间
Permanence（磁导）	等于磁阻的倒数，类似于电导是电阻的倒数
Permanent Magnet（永久磁铁）	由硬钢制成的磁铁，能长期保持磁性
Permeability（磁导率）	与空气相比的某种材料作为磁力线通路的良好程度（空气的磁导率为 1）。其代号用希腊字母 μ 表示
Phase（相位）	两个波之间的角度关系
Phase Angle（相角）	两个或多个波之间的相位差，通常用度来表示
Phase Shift（相移）	两点之间的一个波形的相位变化，用超前或滞后度数来表示
Phase Shift Oscillator（相移振荡器）	在反馈路径中使用三个 RC 网络来产生振荡所需的 180°相移的振荡器
Phase Splitter（分相器）	一个信号输入后输出两个相角相差 180°的信号电路
Phosphor（磷）	发光材料，用于涂在阴极射线管的内表面，受电子轰击后会发出不同颜色的光

（续表）

术　　语	定　　义
Photoconductive Cell（光导电池）	当光照后电阻减小电导增大的材料
Photodetector（光电探测器）	用于检测或感受光的元器件
Photodiode（光电二极管）	光照时其电特性会改变的半导体二极管
Photometer（光度计）	用来测量光强度的仪表
Photon（光子）	电磁能量的离散部分。光的小粒子
Photoresistor（光敏电阻）	也称为光导电池。当光照后电阻减小的元件
Photovoltaic Cell（光伏电池）	通常也被称为太阳能电池，用于将光能转化成电能
Pi	圆的周长与直径的比率，约等于 3.142，使用小写希腊字母 π 作为表达符号
Pierce Oscillator（Pierce 振荡器）	振荡器的变种。这种振荡器用石英晶体代替 Colpitts 振荡器反馈回路中的电感。晶体可以维持很好的输出频率的稳定性
Piezoelectric Crystal（压电晶体）	当施加机械压力时会产生电压的晶体，相反地，当施加电压后可承受机械应力
Piezoelectric Effect（压电效应）	由于压力或扭曲，压电晶体两侧间会产生电压。相反地，当电压施加于晶体两侧之间时晶体会以所施加电压的频率变形（将机械能转换成电能或将电能转换成机械能）
Pinch-Off Region（夹断区）	在场效应晶体管的特性曲线中，栅极偏置会引起耗尽区完全延伸至沟道
Plastic Film Capacitor（塑料膜电容）	铝箔的不同层被塑料膜电介质分隔的电容
Plate（极）	电容器或电池中的导电极。在真空管技术中指阳极
Plug（插头）	通常用来与插座或插孔连接的连接件
PNP Transistor（PNP 晶体管）	有 N 型基极和 P 型发射极和集电极的双极结型晶体管
Pole（极）	有源滤波器中的单独的 RC 电路。单极滤波器有一个电容和一个电阻。双极滤波器有两个 RC 电路
Polar Coordinates（极坐标）	用两个参数来定位一个极坐标系中的一个点，一个参数用来表示和一个固定点的距离，另一个参数用来表示和一条固定直线的角度
Polarity（极性）	用来描述正或负电荷的词
Polarized（极性器件）	必须连接至正确的极性才能发挥功能且避免破坏的元器件。例如电解电容
Positive（正极）	吸引电子的一极，与供给电子的负极相对
Positive Charge（正电荷）	物体内部电子数量远少于质子数量的电荷
Positive Feedback（正反馈）	与放大器输入信号同相的反馈信号。产生振荡需要正反馈
Positive Ground（正地）	电源正端与系统导电底座相连的系统
Positive Ion（正离子）	缺少一个或多个价电子而导致带正电的原子
Potential Difference（电势差）	闭合回路中两点间可以产生电流的电压差
Potential Energy（潜在能量）	由于其位置与其他位置相邻而潜在起作用的能量
Potentiometer（电位计）	有三个接头的可变电阻。轴的机械移动用以产生可变电阻和电位。例如，音量控制通常通过电位计来实现
Power（功率）	单位时间（通常为秒）内电路或元件转换的能量多少。测量单位为瓦特（焦耳/秒）
Power Amplifier（功率放大器）	设计用来输出最大功率至负载的放大器。例如，在音频系统中，功率放大器驱使扬声器工作

（续表）

术　语	定　义
Power Derating Factor（功率下降因数）	二极管参数，用来表示环境温度每升高 1℃时所允许的最大功率下降多少
Power Dissipation（功率消耗）	当电流流过时器件在 1 秒钟内产生的热能
Power Factor（功率因数）	有功功率和视在功率的比值
Power Loss（功率损耗）	吸收功率与传输功率的比值
Power Supply（电源）	用来传送交流或直流电压的电设备
Power Supply Rejection Ratio（电源电压抑制比）	表示输入电压变化时运放维持恒定输出能力的参数
Primary（原边）	变压器的一次绕组。与电源连接的绕组和与负荷相连的副边相对
Primary Cell（一次电池）	通过内部电化学过程产生电能的电池。一旦电解后一次电池不能再使用
Printed Circuit Board（印制电路板）	包含用于电路连接的导电线迹的绝缘板
Programmable UJT（可编程单结晶体管）	具有可变分压比的单结晶体管
Propagation（传播）	电磁波、电波或声波通过媒质传播
Propagation Delay（传播延时）	信号穿过一个设备或电路所需要的时间
Propagation Time（传播时间）	信号从设备传输到电路所需的时间
Protoboard（实验电路板）	用来附上元器件但并不焊接的板子。主要用于搭建实验电路
Proton（质子）	原子核内的亚电子，带正电
Pulse（脉冲）	某些量(通常是电压)的一定时间内的上升和下降
Pulse Fall Time（脉冲下降时间）	脉冲从 90%的峰值下降到 10%峰值的时间
Pulse Repetition Frequency（脉冲重复频率）	每秒钟发出的脉冲个数。脉冲率
Pulse Repetition Time（脉冲重复时间）	两个连续脉冲之间的时间相隔
Pulse Rise Time（脉冲上升时间）	脉冲从 10%的峰值上升到 90%峰值的时间
Pulse Width（脉冲宽度）	50%脉冲峰值时的脉冲前沿和后沿之间的时间间隔
Push-Pull Amplifier（推挽式放大器）	由两个工作点相差 180°的有源器件构成的放大器
Pythagorean Theorem（勾股定理）	几何定理：直角斜边的平方等于两斜边的平方和。在电学中用于直流电路的矢量分析
Q	电感或电容的品质因数。是元件电抗(能量储存)和其有效电阻(能量消耗)的比值。对于调谐电路，此参数是带宽计算中的品质指标
Quiescent（静态）	对于放大器指无有效输入信号的状态
Quiescent Point（静态点）	给定放大器的直流负载曲线中的一点表明此放大器的输出电压和电流的静态值
Radar（雷达）	无线电探测和测距简称。可以测量目标距离和方位的系统
Radioastronomy（射电天文学）	天文学的分支，研究天体产生的无线电波并用于获取关于天体的信息

（续表）

术　语	定　义
Radio Broadcast（无线电广播）	通过无线电载波传输公众可接收的音乐、语音和信息
Radiocommunication（无线电通信）	两点或多点间利用无线电波或电磁波进行的信息传输
Radio-Frequency Amplifier（射频放大器）	用一个或多个有源器件来放大无线电信号的放大器
Radio-Frequency Generator（射频发生器）	能以射频频谱中的任一指定频率提供射频能量的发生器
Radio-Frequency Probe（射频探测器）	和交流电表联合用于测量射频信号的探测器
RC	电阻电容的缩写。也是无线电控制(radio controled)的缩写
RC Time Constant（RC 时间常数）	电阻和电容的乘积，以秒为单位
Reactance（电抗）	符号 X。阻碍电流流通但又不消耗电能的器件。例如，交流电路中的电感和电抗的作用
Reactive Power（无功功率）	也称虚功率或者非瓦特功率。以伏-安为单位的功率值，通过电抗电路中源电压和源电流的乘积计算
Real Number（实数）	没有虚部的数
Receiver（接收器）	用于接收信号的设备
Recombination（再结合）	传导带电子释放能量(以热或光的形式)落入价带空穴的过程
Rectangular Coordinates（直角坐标）	笛卡儿坐标系中的一种笛卡儿坐标，其中的直线轴或者坐标平面之间是垂直的
Rectangular Wave（矩形波）	也称脉冲波。只在两个电平(或者值)上下重复的波
Rectification（整流）	将交流转换成直流的过程
Rectifier（整流器）	将交流转换成直流的二极管电路
Reed Relay（舌簧继电器）	由玻璃管中的两个薄导磁片构成的继电器。当围绕玻璃管的线圈施加电压后，继电器的触点吸住，从而使前后片接触
Regenerative Feedback（再生反馈）	正反馈。反馈信号和放大器的输入信号同相的反馈。用于产生振荡
Regulated Power Supply（稳压电源）	在变化的负载条件下能够维持恒定输出电压的电源
Regulator（调节器）	在变化的条件下能够维持输出的设备或电路
Relay（继电器）	在电流通过线圈时开闭触点的电气机械装置
Relative（相对的）	不独立。与其他测量量比较或相关
Relaxation Oscillator（弛张振荡器）	带有与周期相关或带有一个或更多 RC 时间常数的输出脉冲的自由运行电路
Reluctance（磁阻）	对磁力线流动的阻抗
Remanence（剩磁）	在磁力线消失后，材料保持所剩磁性的量
Residual Magnetism（剩余磁性）	在线圈电流消失后，保留在电磁铁中的磁性
Resistance（电阻）	符号为 R，单位为欧。阻碍电流，以热的形式使能量耗散
Resistive Power（电阻损耗功率）	在电路中以热量形式散失的功率包括电阻性元件和电抗性元件。也称有效功率，与无功功率相对

（续表）

术　语	定　义
Resistive Temperature Detector（RTD）（电阻式温度检测器）	由细的导电线（如铂）组成的温度检测器。造成当温度上升时电阻相对线性增长的效果
Resistivity（电阻率）	单位长度、单位截面的某种物质的电阻
Resistor（电阻器）	在电路中通过提供电阻控制电流的仪器
Resistor Color Code（电阻色标）	电阻上的颜色条带编码系统，用以表示电阻的值和误差
Resonance（谐振）	发生在电路的某一频率下的电路工况，此处感抗（X_L）等于容抗（X_C）
Reverse Bias（反偏压）	在 PN 结上的偏置电压，只允许泄漏电流（少数载流子）流动。在 N 型材料上为正极，在 P 型材料上为负极
Reverse Breakdown Voltage（反向击穿电压）	造成 PN 结击穿并且反方向导通的反向偏置电压
Reverse Current（反向电流）	在反向偏置电压下通过二极管的电流，一种非常小的电流也可称为泄漏电流
Reverse Saturation Current（反向饱和电流）	由温度活动造成的通过二极管的反向电流。这个电流不会受元件上的反向偏置的大小影响，但是随温度变化
RF	无线电频率的缩写
Rheostat（可变电阻器）	可变化的两接线端电阻，用于控制电流大小
Right Angle Triangle（直角三角形）	有 90°直角内角的三角形
Ripple Frequency（纹波频率）	直流电源输出的纹波的频率
Ripple Voltage（纹波电压）	电源滤波后在直流电压中保留的微小电压变动
Rise Time（上升时间）	一个脉冲的上升沿从其峰值的 10%上升至其峰值 90%的时间
RL Differentiator（RL 微分器）	一个 RL 电路，其输出电压正比于输入电压的变化率
RL Filter（RL 滤波器）	由电阻和电感组成的允许某些频率通过，阻止和衰减其他频率的选择性电路
RL Integrator（RL 积分器）	输出正比于输入信号积分的 RL 电路
RMS	均方根值的缩写
RMS Value（均方根值）	交流正弦波的均方根值是峰值的 0.707 倍。也指交流正弦波的有效值
Roll-Off Rate（跌落率）	当放大器运行在带宽之外时，增益的变化率
Rotary Switch（旋转式开关）	带有转动轴的机电装置，转动轴被连接到一个可以合上或切断与其他终端连接的终端上
R-2R Ladder	由一系列级联的 L 形网络所组成的电路或网络。该电路用于数模转换器
Saturation（饱和）	输入量显著增大，而输出量却没有明显变化的现象。例如，当双极结型晶体管的发射极与集电极之间的电压小于发射极与基极的电压时，就会出现饱和现象。这种现象使偏置处于基极与集电极的连接结上
Sawtooth Wave（锯齿波）	从零开始线性上升到最大值再降为零的重复波形。一种斜坡波形
Schmitt Trigger（施密特触发器）	将一个给定波形转换为方波输出的电路
Schottky Diode（肖特基二极管）	有非常小连接电容的高速二极管，也可称为表面势垒二极管
Scientific Notation（科学记数法）	用 1 到 10 的数乘以 10 的指数来表示一个数。$8765 = 8.765\times10^3$

（续表）

术　语	定　义
Secondary（二次侧）	变压器的输出绕组，此绕组连接到负载上
Secondary Cell（二次电池）	用于存储电能的电解电池，一旦放完电后可以再次充电。充电时使电流流过电池，充电电流方向与放电电流方向相反
Selectivity（选择性）	一个电路区分需要的和不需要的信号特性
Self-Biasing（自偏置）	场效应管的门偏置，在这个场效应管里，源电流通过电阻产生门至源的偏置电压
Self-Inductance（自感）	当电磁场随电流的变化扩展或收缩时，造成导体中产生反电动势的属性
Semiconductor（半导体）	一种元件，既不是良好导电体，也不是良好绝缘体，而是处于两者之间。其特征由价带层来表征，价带层含有四个电子。硅、锗和碳是最常用于电子学中的半导体
Series Circuit（串联电路）	在电路中的元件其两端互相连接，这样电流只有一个路径通过电路
Series parallel Network（串并联网络）	同时包含有串联和并联连接元件的电路
Series Resonance（串联谐振）	在 LC 串联电路中，感抗等于容抗时的频率被称为串联谐振频率。在该频率下，阻抗值最小，电流最大且受电路中电阻限制
Seven Segment Display（七段码显示）	由 7 个发光二极管排列成数字或字母形状的器件。通过点亮所选的段，可显示数字或字母符号
Shells or Bands（能带）	包含能量级别相同的一组电子的轨道路径
Shield（屏蔽）	大面积金属接地，用于保护电线、元件或设备防止杂散电磁场的干扰
Short Circuit（短路）	电路中两点之间电阻很低的连接，通常会导致过电流
Shunt Resistor（分流电阻器）	与其他元件或电路并联或分流的电阻器
Signal（信号）	传递信息的电量
Signal to Noise Ratio（信噪比）	信号的幅值与噪声幅值之比，通常以分贝表示
Silicon (Si)（硅）	半导体中使用的非金属元素
Silicon-Controlled Rectifier (SCR)（可控硅整流器）	三端有源器件，可作为栅极控制二极管，栅极控制端用于导通器件，允许电流从阴极流到阳极
Silicon Controlled Switch（可控硅开关）	带有增加的阳极栅极控制端的可控硅整流器。在阳极栅极控制端或阴极栅极控制端的正脉冲可以使器件导通
Silicon Dioxide（二氧化硅）	类似玻璃的材料，在 MOSFET 中作为门极绝缘材料
Silicon Transistor（硅晶体管）	用硅作为半导体材料的双极结型晶体管
Silver（Ag）（银）	不易腐蚀的贵金属，导电性比铜更好
Silver Mica Capacitor（银云母电容器）	用银直接淀积在云母片上而不是用导电金属箔的云母电容器
Silver Solder（银焊料）	由银、铜和锌组成的焊料。熔点比纯银更低但是比引脚焊锡更高的焊料
Simplex（单工）	在某一时间只能以一个方向进行通信，例如传真
Simulcast（联播）	同时以两种形式广播一个节目，例如同时以 AM 和 FM 进行节目广播
Sine	直角三角形的一个锐角的正弦函数值，等于该锐角的对边除以斜边

（续表）

术　语	定　义
Sine Wave（正弦波）	幅值的大小与时间成正弦函数关系的波形。正弦波可以用幅值时间曲线图来表示，也可以用交变旋转相量图来表示
Single In-Line Package（单列直插封装）	带有单行连接针，包含几个电子元件（通常是电阻）的封装
Single Pole Double Throw(SPDT)（单刀双掷开关）	三端开关，其中一端可以连接到其中两端的一个
Single Pole Single Throw(SPST)（单刀单掷开关）	可以开合电路的两端式开关和继电器
Single Sideband（SSB）（单边频带）	AM 无线通信技术，发射机抑制了一个频带，因此只需以单一频带发射
Single Throw Switch（单掷开关）	包含一组既可开也可关触点的开关
Sink（吸收装置，散热器）	一种作为负载的装置，它消耗功率或散热
Sintering（烧结）	用冷压的办法将金属或粉末压成需要的形状，并加热以形成牢固的黏聚性物体的过程
Sinusoidal（正弦曲线）	与时间或相角成正弦比例变化的曲线，交流电压的瞬时值等于峰值与相角瞬时值的正弦函数值的乘积
SIP	单列直插封装的缩写
Skin Effect（集肤效应）	高频（RF）电流沿导体表层流过的趋势
Slew Rate（信号响应速率）	运算放大器的输出电压可改变的最大速率
Slide Switch（滑动开关）	具有滑动按钮、杆和球形柄的开关
Slow-Acting Relay（缓动继电器）	当通电时，几秒钟之内衔铁不会吸起的继电器
Slow-Blow Fuse（缓动式熔断器）	在熔断之前，能在比较短的时间内承受大电流（10 倍于额定值）的熔断器
Snap Switch（速动开关）	含有弹簧的开关，动作时在拉紧或压缩的条件下，弹簧会造成触点的吸合
SNR	信噪比的英文缩写
Soft Magnetic Material（软磁材料）	容易消磁的铁磁体材料
Software（软件）	引导计算机运行的指令程序
Solar Cell（太阳能电池）	将光能转换成电能的光伏电池，特别是在宇宙飞船上用做电源
Solder（焊料）	用于连接两个金属表面的合金
Soldering（焊接）	连接两个金属表面，用熔化的焊料跨接它们，使之成为电气接触的一种工艺过程
Soldering Iron（电烙铁）	用内部加热元件来加热被焊接表面，使之达到焊料熔化温度的一种工具
Solenoid（螺线管）	一个空心线圈。螺线管配有可移动的铁心时，可以产生运动。当电流通过线圈，铁心被推入绕组的中心。线圈断电以后，通过一个弹簧拉动可移动的铁心离开线圈的中心。连接到可移动铁心的机械装置，在电流流过线圈时会产生移动。例如，某些汽车上的电动门锁
Solid Conductor（实心导线）	只包含单股线，而不是由一串细线扭绞在一起的导线
Solid State（固态）	与信号通过如晶体管和二极管等半导体固体材料的电路有关，与信号通过真空的真空管相对

（续表）

术　语	定　义
Sonar（声呐）	声导航和测距的缩写。用反射声波确定某个目标位置的系统
Sonic	与声音有关的
Sound Wave（声波）	通过空气或其他塑性媒介传播的压力波。如果声波频率在大约每秒 20～20 000 次振动（Hz）间，一般人的耳朵可以听到
Source（电源）	提供信号功率或能量给一个负载的装置
Source Follower（源极跟随器）	FET 运放，信号施加在栅极和漏极间，在源极和漏极间输出，也可称为“共漏”
Source Impedance（电源阻抗）	电源通过该阻抗输出电流
South Pole（S 极）	磁体的一极，磁力线进入该极
Spark（火花）	由于空气的电离或其他电介质材料分隔两种不同电荷，而造成电能的瞬间放电
SPDT	单刀双掷开关的缩写
Speaker（扬声器）	在音频时，将电能转换成机械能的换能器
Spectrum（频谱）	按波长、能量或其他特性，将电磁辐射排列或做出光和其他形式的显示
Spectrum Analyzer（频谱分析仪）	用于显示频域，画出强度幅值对频率图形的仪器
Speed-Up Capacitor（加速电容）	在 BJT 切换电路的基本电路上增加的电容，可以改善设备的切换时间
SPST	单刀单掷开关的缩写
Square Wave（方波）	在等量的时间段内，在两个不同符号固定值上下变动的波形
Static（静电噪声）	在 AM 收音机听到的噼啪噪声。由雷电和电气设备产生
Static Electricity（静电）	固定的电荷
Static Reverse Current（静态反向电流）	当二极管上施加的反向电压小于器件的齐纳电压额定值时，通过齐纳二极管的电流
Stator（定子）	旋转装置(如可变电容器)的固定部分
Step-Down Transformer（降压变压器）	输出交流电压小于输入交流电压的变压器
Step-Up Transformer（升压变压器）	输出交流电压大于输入交流电压的变压器
Stereo Sound（立体声）	声音通过两个以上信道传送出来给人以不同声源方向感觉的声音复现系统
Stop Band（阻带）	调谐放大器通带以外的频率范围
Storage Time（存储时间）	在 BJT 切换电路中，集电极电流从最大值的 100%降到 90%所需的时间
Stranded Conductor（绞合导线）	由一群绞合在一起的多股导线组成的导线
Stray Capacitance（寄生电容）	存在于两个引脚之间或引脚和金属底盘之间的杂散电容
Subassembly（部件）	为方便设备装配和维修的一个单元的元件组合
Subatomic（亚原子）	像电子、质子和中子这样比原子更小的微粒
Substrate（底板）	机械绝缘支撑，在此支撑上，可以制造出一个装置
Summing Amplifier（加法放大器）	输入正比于其瞬时电压总和的运算放大器
Superconductor（超导）	铅、铌类金属当冷到热力学温度零上几度时，可以传导电流而没有电阻

（续表）

术　语	定　义
Superheterodyne Receiver（超外差接收机）	在解调之前，转换所有的无线频率成固定的中间频率，以便使增益或带宽最大化的接受机
Super High Frequency（SHF）（超高频）	3GHz 和 30GHz 之间的频率。由美国通信委员会命名
Superposition Theorem（叠加原理）	用于简化含有两个及以上电源网络的理论，该理论说明：在一个网络中含有两个及以上电源时，在网络中任何一点的电流等于由各单个电源分别作用而产生电流的代数和
Supply Voltage（供电电压）	由电源供给的电压
Surface-Barrier Diode（Schottky diode）（表面势垒二极管肖特基二极管）	具有极小结电容的高速二极管。也称“热载流子二极管”
Surface Leakage Current（表面泄漏电流）	沿半导体材料的表面传递的二极管反向电流
Surge Current（浪涌电流）	在接通电源时，流入电源滤波电容中的高充电电流
Sweep Generator（扫频发生器）	用来产生在某段频率上频率连续变化电压的测试设备。作为示波器电路上显示频率响应的源
Switch（开关）	具有接通或断开两种状态的电气装置。理想情况下，当其接通时，阻抗为零；而当其断开时，阻抗为无穷大
Switching Transistor（开关晶体管）	设计为在饱和和截止之间快速充电的晶体管
Synchronization（同步）	两个波或两个函数精确匹配
Synchronous（同步）	两个或更多信号同步或同相
Sync Pulse（同步脉冲）	用于同步参考的脉冲
System（系统）	若干台设备的组合，以一种特定的方式工作
Tank Circuit（振荡电路）	包含有一个线圈和一个电容的并联谐振电路。线圈和电容在每一周期都能存储电能
Tantalum Capacitor（钽电容）	具有钽箔阳极的电解电容，在小的封装中能有大的电容量
Tap（分支线）	与一个电阻或电感的某一点而不是接地端相连的临时电气连线
Tapered（渐缩效应）	在电位计元件上的单位长度电阻分配不均匀的现象
Technician（技师）	是处理电路故障和系统不正常工作方面的专家，同时具有测试设备及如何用它来诊断问题的全面知识。技师也熟悉如何修理或如何更换故障元件。技师本质上是将理论变为行动
Telemetry（遥测）	通过有线或无线传送远距离位置的仪表读数
Temperature Coefficient of Frequency（频率温度系数）	频率随温度的变化率
Tera (T)（万亿）	表示 10^{12}
Terminal（端子）	可进行电气连接的点

（续表）

术　语	定　义
Tesla (T)（特斯拉）	磁通密度单位
Test（测试）	验证一套设备或系统的运行正确性或故障情况的一系列措施
Thermal Relay（热继电器）	由热元件激发的继电器
Thermal Runaway（热耗散）	可能会在放大器中出现的问题，当温度上升时，可以造成集电极电流的增加。集电极电流的增加会造成温度的进一步增进，如此等等。除非电路设计可以防止这一现象，否则放大器会饱和
Thermal Stability（热稳定性）	当温度上升时，电路保持稳定性质的能力
Thermistor（热敏电阻）	有一个负温度系数电阻的对温度敏感的半导体。当温度增加时，电阻减少
Thermocouple（热电偶）	一种温度传感器，包含有两种不同的金属线在一端焊接在一起形成一个结点。当结点加热时将会产生一个电压
Thermometry（温度测定法）	与温度测量有关
Thermostat（恒温器）	能响应温度变化使电路断开或接通的装置
Thevenin's Theorem（戴维南定理）	任何复杂的网络都可用一简单的电压源与一简单的电阻相串联的电路来替代的理论
Thick Film Capacitor（厚膜电容器）	包含有两层电极薄膜层，并被一个淀积的厚层电介质分开的电容器
Thick Film Resistor（厚膜电阻器）	一种固定值电阻器，包含有厚膜电阻元件，该元件由金属粒和玻璃粉末制成
Thin Film Capacitor（薄膜电容器）	电极和介质都分层淀积在基片上的电容器
Thin Film Detector（TFD）（薄膜探测器）	包括一薄层铂的温度检测器。用于精确的温度读数
Threshold（阈值）	能产生效果或检出效果的最小点
Threshold Voltage（阈值电压）	对于一个增强型 MOSFET 晶体管来说，能使其源漏电流导通的最小栅源电压值
Thyristor（晶闸管整流器）	对四层半导体器件进行归类的术语。SCR（半导体可控整流器）和三端双向可控硅开关均属于晶闸管整流器
Time Constant (τ)（时间常数）	在 RC 电路中，将电容器充电到低持电位的 63%时，所要求的时间；在 RL 电路中，电流达到 63%最大电流值时所要求的时间。RC 电路中的时间常数为 R 和 C 的乘积，而在 RL 电路中的时间常数为 L/R
Time Division Multiplexing (TDM)（时分复用）	不同时间同一路径，两个以上信号的传输
Time Domain Analysis（时域分析）	画出幅值对时间的波形图为代表的分析方法
Toggle Switch（拨动开关）	弹簧加力的开关，停止在两个位置中的一个位置，即接通或断开
Tolerance（容差）	对于一个规定值的容许偏差，通常用百分率表示
TO Package（TO 封装）	金属、筒状，可以包含一些半导体元件的封装
Toroidal Coil（环形线圈）	在环形铁心上绕制的线圈
Transconductance（跨导）	也称为互导。输出电流随产生电流的输入电压的变化而变化的速率
Transducer（换能器）	从一种形式能量转换为另一种形式能量的器件

（续表）

术语	定义
Transformer（变压器）	具有两个或更多绕组的电感器。通过互感，在一个绕组（称为初级绕组）中的电流会在另一个绕组（称为次级绕组）中感应出电流来
Transformer Coupling（变压器耦合）	亦称电感耦合。通过变压器的互感使两个电路耦合
Transistor（晶体管）	该术语来自“transfer resistor”。是一种半导体器件，可以用做放大器或用做电子开关
Transmission（传输）	信息的传送
Transmission Line（传输线）	用于在两点之间传输信号能量的导电线
Transmitter（发射机）	用于实现传输的设备
Triac（三端双向可控硅开关）	与 SCR 类似但可双向导通的双向栅极控制可控硅整流器。可提供交流功率的全波控制
Triangular Wave（三角波）	一种重复的波形，具有相等的正斜坡和负斜坡。这些斜坡按线性率随时间而变化
Trigger（触发脉冲）	引发电路活动的脉冲
Triggering（触发）	在一个电路中一个作用的起动，然后在预定的时间内工作。例如，在一个阴极射线管中的一次扫描期间
Trimmer（可调元件）	用于微调大数值元件的小数值可变电容、可变电阻或电感
Trivalent Element（三价元素）	一个有三原子价的电子的元素。用于半导体材料中的杂质，可以制造 P 型材料。最普通的三价元素是铝、镓和硼
Troubleshooting（故障处理）	在一个电子电路或系统中，确定故障原因的系统方法
Tuned Circuit（调谐电路）	元件值可调的电路，这样的电路可以对应于一个可选频率并且抑制其他频率
Tunnel Diode（隧道二极管）	在运行范围的向前方向有负电阻的重掺杂质连接二极管
Turn-Off Time（关断时间）	存储时间和下降时间之和
Turn-On Time（导通时间）	延迟时间和上升时间之和
Turns Ratio（匝数比）	一个变压器的次级绕组匝数与其初级绕组匝数的比率
Two Phase（两相）	相位差为 90°的两个重复波形
UHF	特高频的缩写
Ultrasonic（超声波的）	频率刚超过人类能听到的频率范围（大约 20kHz）的信号
Uncharged（不带电的）	材料的原子中，其轨道上的电子数与原子核中的质子数相同，即没有电荷
Unijunction Transistor（单结晶体管）	带有内部分压偏置电路，可充当二极管的三端设备
Unity Gain Frequency（单位增益频率）	当元件增益下降至 1 时，装置的运行频率
VA	伏安的缩写
Vacuum Tube（真空管）	电子管抽空到这样程度，即其电气特性本质上已不被其残余在里面的气体和蒸气所影响。电子管已经被晶体管替代用在放大和整流功能方面。但阴极射线管仍在用做显示器件
Valence Shell（价电子层）	指定原子最外面的电子层，在这一层上电子的数目决定了原子的导电能力

（续表）

术　　语	定　　义
Varactor Diode（变容二极管）	当出现反向偏置时，带有高结电容的 PN 结二极管。大多用于压控电容。变容二极管也可称为变容可调二极管
Variable Capacitor（可变电容）	用变化极板有效面积或变化极板间距离的方法使其电容变化的电容器
Variable Resistor（可变电阻器）	用旋转一个轴来使电阻变化的电阻器
VCR	录像机的缩写
Vector（矢量）	具有幅值和方向的量。通常用一根线来代表。线的长度表示幅值，而其方位表示方向
Vector Diagram（矢量图）	表示两个或更多同样频率的交流电量矢量间的相位关系的布局
Vertical MOS（纵向金属氧化物半导体晶体管）	设计为可处理比标准 E-MOSFET 更大数值漏电流的增强型 MOSFET
Very High Frequency（VHF）（甚高频）	30MHz 到 300MHz 的频段
Very Low Frequency（VLF）（甚低频）	3kHz 到 30kHz 的频段
Video（视频）	涉及任何图像或可视信息。来源于拉丁词“我看”
Video Amplifier（视频放大器）	有一级或一级以上进行视频信号放大的放大器
Virtual Ground（虚地）	电路中的某一点处于近似的地电位。通常是指电压的地，而不是电流的地
Voice Coil（音圈）	连接到移动的线圈扬声器薄膜上的线圈，线圈通过空气气隙在磁极片之间移动
Voice Synthesizer（声音合成器）	通过将各种音素串在一起，模拟语音的一种合成器
Volt（伏特）	电位差或电动势的单位。1 伏特使 1 安培电流通过 1 欧姆电阻所需的电位差
Voltage（V）（电压）	用以表示引起电流流动的电的压力的术语
Voltage Amplifier（电压放大器）	设计为可增加信号电压的放大器。通过放大器的设计可以获得大电压增益或大电流增益或大功率增益。电压放大器被设计为以牺牲电流增益和功率增益的代价使电压增益最大化
Voltage Controlled Oscillator（压控振荡器）	其输出频率决定于输入控制电压
Voltage Divider（分压器）	用固定或可变的串行电阻网络与某一电压相连，可以获得所需的电压分压
Voltage Divider Biasing（分压器偏置）	放大器中使用的偏置办法
Voltage Drop（电压降）	由于电流流动造成的元件上电压或电位差
Voltage Feedback（电压反馈）	反馈配置为一部分输出电压被反馈到运算放大器的输入端
Voltage Follower（电压跟随器）	带有高输入阻抗、低输出阻抗和电压增益为 1 的性质的运算放大器电路。可作为电源和低阻抗负载的缓冲器
Voltage Gain（电压增益）	也可称为电压放大倍数。运放输出电压与输入电压的比率，通常以分贝来表示

（续表）

术　语	定　义
Voltage Multiplier（电压倍增器）	用二极管和电容搭建的整流电路，可以产生数倍于交流输入电压的直流输出电压。能产生更高直流电压的经济方法。例如电压二倍器和电压三倍器
Voltage Rating（额定电压）	一个元器件能承受而不被击穿的最大电压
Voltage Regulator（稳压器）	不管线电压和（或）负载电流的变化，能保持恒定输出电压（在一定限度内）的装置或电路
Voltage Source（电压源）	供给一个负载电压的电路或装置
Voltaic Cell（伏打电池）	一次性电池，有两个不同类型的电极插入溶液，并进行化学反应以生成电压
Volt-Ampere（伏安）	包括容性和感性阻抗的交流电路视在功率单位。视在功率是电压与电流的乘积
Voltmeter（电压表）	测量两点之间电位差的仪表
Volume（容量）	音频的幅度或功率等级。以容量的单位测量
Watt（瓦）	做功的电功率单位，其功率为每秒1焦耳。当1安培的直流电流流经1欧姆电阻时消耗1瓦功率。在交流电路中，实际功率是有效电压和有效电流的乘积再乘上功率因数
Wattage Rating（额定功率）	设备可以连续安全运行的最大功率
Watt-hour（瓦特小时）	电功的单位，相当于1小时吸收1瓦特的功率
Wattmeter（瓦特计）	用瓦特测量电功率的仪器
Wave（波）	电、电磁、声音、机械或其他形式的周期性升降和前进、后退等物理活动通过某种介质的传递
Waveform（波形）	波的形状
Waveguide（波导）	用于在微波频率下引导电磁波的矩形或环型管
Wavelength（λ）（波长）	波的对应相位两点之间的距离，等于波的行进速度除以频率
Weber (Wb)（韦伯）	磁通的单位
Wienbridge Oscillator（温布里奇振荡器）	用RC低通滤波器和RC高通滤波器设置振荡频率的振荡器
Wet Cell（湿电池）	用液体作为电解液的二次电池
Wetting（润湿）	在焊接中使用的词汇，用来描述当被焊接的金属热得足以熔化焊锡时，焊锡在金属表面流动的现象
Wheatstone Bridge（惠斯通电桥）	用来测量电阻、电感和电容的四臂电桥电路
Wideband Amplifier（宽带放大器）	在宽频范围内具有平滑响应的放大器
Winding（绕组）	以线圈形式缠绕的一圈或更多圈的导体
Wire（电线）	单根硬导线或多股绞合导线，电流流过时，具有低的电阻，用于电路之间的连接或一个电路上几个点之间的连接
Wire Gauge（线规）	美国线规（AWG）是电线直径数字命名系统之一
Wireless（无线）	描述无线电通信的术语
Wire-Wound Resistor（绕线电阻器）	一种电阻器。其电阻元素通常是一条绕在绝缘体上的镍铬合金的高阻线或高阻带

（续表）

术 语	定 义
Wire Wrapping（绕接）	通过在矩形针的周围绕线形成电气连接的方法
Woofer（低音扬声器）	主要用于复现低频声信号的大型扬声器
X	电抗符号
x-axis（*x* 轴）	水平轴
Y	导纳符号
y-axis（*y* 轴）	垂直轴
z-axis（*z* 轴）	与 *x* 轴、*y* 轴都正交的轴
Zener diode（稳压二极管）	一种半导体二极管，其反向击穿的电压电流使二极管产生一个稳定的电压。通常用来作为电压调整的钳位电路
Zeroing（零点调整）	调校测量仪表，使之在测量零时，显示也为零

电子缩写词[1]

术　语	定　义
A(amp)	安培
AC	交流
AC/DC	交流或直流
A/D	模数转换
ADC	模数转换器
AF	音频
AFT	自动微调
AFC	自动频率控制
AFC	自动流量控制器，用于真空系统中控制压力下气体的流动
AGC	自动增益控制
Ah	安培·时
A_i	输入电流
AM	调幅
AM/FM	调幅或调频
AMM	模拟万用表
Antilog	反对数
A_p	功率增益
apc	自动相角控制
A_v	输入电压
AVC	自动音量控制
AWG	美国线规
B	磁通密度
BCD	二进制编码的十进制
Bfo	拍频振荡器
BJT	双极结型晶体管
BW	带宽
c	百分之一（10^{-2}）
C	电容或电容器
CAD	计算机辅助设计

① 电子缩写词经 Twisted Pair 公司许可引用（www.twysted.pair.com）。

（续表）

术　语	定　义
CAM	计算机辅助制造
CATV	有线电视
CB	共基极配置
CB	民用波段
CC	共集电极
CE	共发射极
cm	厘米
cmil	圆密耳(面积单位，直径 1 密耳的圆面积)
CPU	中央处理单元
C(*Q*)	库仑
CR cr	结型二极管
CRO	阴极射线示波器
CRT	阴极射线管
C_T	总电容
cw	连续传输
d	十分之一（10^{-1}）
D/A 或 D-A	数模转换
DC	直流
d*i* 或 Δ*i*	电流增量
DIP	双列直插式封装
DMM	数字万用表
DPDT	双刀双掷（开关）
d*t* 或 Δ*t*	0 时间增量
DTL	二极管晶体管逻辑
d*v* 或 Δ*v*	电压增量
DVM	数字伏特计
E DC 或 E_{rms}	电势差
e	电势差瞬时值
ECG	心电图
ECL	发射极耦合逻辑
EHF	极高频率
EHV	超高压
ELF	极低频率
EMF	电动势
EMI	电磁干扰

（续表）

术　语	定　义
EW	电子战
f	频率
FET	场效应晶体管
FF	双稳态多谐振荡器
fil	灯丝
FM	调频
f_r	共振频率
fsk	频移键控
FSD	满刻度偏转
g	重力
G	电导
G	十亿（10^9）
H	亨利
H	磁场强度
H	磁化通量
h	一百（10^2）
h	混合的
HF	高频
hp	马力
Hz	赫兹
I	电流
i	瞬时电流
I_B	直流基极电流
I_C	直流集电极电流
IC	集成电路
I_e	发射极的总电流
I_{eff}	有功电流
IF	中频
I_{max}	最大电流
I_{min}	最小电流
I/O	输入/输出
IR	红外线
I_R	电阻电流
I_S	二次电流
I_T	总电流

（续表）

术　语	定　义
JFET	结型场效应晶体管
K	耦合系数
k	一千（10^3）
kHz	千赫兹
kV	千伏
kVA	千伏安
kW	千瓦
kWh	千瓦小时
L	感应系数
LC	电感-电容
LCD	液晶显示器
LCR	电感-电容-电阻
LDR	光敏电阻
LED	发光二极管
LF	低频
L_M	互感系数
LNA	低噪声放大器
LO	本机振荡器
LSI	大规模集成电路
L_T	总电感
M	兆（10^6）
M	互导
M	互感
m	千分之一（10^{-3}）
mA	毫安
mag	磁电管
max	最大值
MF	中频
mH	毫亨
MHz	兆赫
min	最小值
mm	毫米
mmf	磁动势
MOS	金属氧化物半导体
MOSFET	金属氧化物半导体场效应晶体管

（续表）

术　语	定　义
MPU	微处理器
MSI	中规模集成电路
mV	毫伏
mW	毫瓦
N	感应器的线圈匝数
N	每分钟转数
n	十亿分之一（10^{-9}）
N	负的
nA	毫微安
NC	常闭的
NC	无连接
NEG，neg	负的
nF	纳法
nH	纳亨
nm	纳米
NO	常开的
NPN	负正负
ns	纳秒
nW	毫微瓦
Op-Amp	运算放大器
P	兆分之一（10^{-12}）
P	功率
p	瞬时功率
P	正的，或峰值
PA	播音或功率放大器
pA	皮安
PAL	可编程逻辑阵列
PAM，pam	脉冲调幅
P_{ap}	视在功率
P_{av}	平均功率
PCB	印制电路板
PCM，pcm	脉［冲编］码调制
PDM	脉冲宽度调制
pF	皮（可）法拉
PLD	可编程逻辑电路

（续表）

术　语	定　义
PLL	锁相环
PM	调相
PNP	正-负-正
POT，pot	电位计
P-P	峰-峰值
PPM	脉位调制
PRF	脉冲重复频率
PRT	脉冲重复时间
pw	脉宽
PWM，pwm	脉宽调制
Q	电荷，质量
q	瞬时电荷
R	电位计
R	电阻
RAM	随机存储器
RC	电阻-电容，无线电控制的
rcvr	接收机
rect	整流器
ref	参考
rf	无线电频率
RF	无线电频率
RFI	无线电频率干扰
R_L	负载电阻
RLC	电阻-电容-电感
RMS，rms	均方根
ROM	只读存储器
rpm	每分钟转速
SCR	可控硅整流器
SHF	超高频率
SIP	单列直插封装
SNR	信噪比
SPDT	单刀双掷
sq cm	平方厘米
SSB	单边带
SW	短波

（续表）

术　　语	定　　义
SWR	驻波比
SYNC，sync	同步的
T	万亿（10^{12}）
T	扭矩，转矩
T	变压器
t	秒时间
TC	时间常数，温度系数
TE	横向电的
temp	温度
THz	太赫
TM	横向磁的
TR	发送接收
TTL	晶体管-晶体管逻辑（电路）
TV	电视
TWT	行波管
UHF	超高频率
UHV	超高压
UJT	单结晶体管
UV	紫外线辐射
V	电子管
V，v	伏特
v	瞬时电压
VA	伏安
V_{av}	电压（平均值）
V_{BE}	直流电压（基极至发射极）
V_C	电容电压
V_{CE}	直流电压（集电极至发射极）
VCO	电压控制振荡器
VHF	甚高频率
V_{in}	输入电压
V_L	感应电压
VLF	甚低频率
V_m，V_{max}	最大电压
VOM	电压欧姆毫安表
V_{out}	输出电压

（续表）

术　语	定　义
V_p	一次电压
V_S	源极电压
VSWR	电压驻波比
V_T	总电压
W	瓦特
X_C	电容电抗
X_L	电感电抗
Y	导纳
Z	阻抗
Z_{in}	输入阻抗
Z_o	输出阻抗
Z_p	一次阻抗
Z_s	二次阻抗
Z_T	总阻抗
kΩ	千欧
MΩ	兆欧
μA	微安
μF	微法拉
μH	微亨
μV	微伏
μW	微瓦
Ω	欧姆
°	度
℃	摄氏度
℉	华氏度

PCB 设计缩写词[①]

术　语	定　义
AA	自动确认
AA	天线阵列
AGR	年平均增长率
ABS	丙烯腈丁= 烯苯乙烯(塑料)
AC	交流
AC	所有命令
ACA	各向异性导电黏合剂
ACC	构造理念前卫的有非控制通道
ACCU	交流连接单元
AEC	体系、工程和结构
Agc	自动增益控制
AGV	自动制导车辆
AI	人工智能
AIS	紧密互连系统
ANOVA	方差分析
ANSI	美国国家标准化学会
AOI	自动光学检查
AOQ	平均出厂质量
APT	自动程序设计工具
AQL	合格品质量水平
ARINC	航空无线电公司
ASCII	美国信息交换标准码
ASIC	专用集成电路
ASME	美国机械工程师学会
ASPaRC	焊接粘贴保留元器件能力
ASQ	美国质量协会
ASTM	美国材料试验学会
ATE	自动测试设备
ATG	自动测试生成

① PCB 设计缩写词经 IPC 组织许可引用(www.IPC.org)。

（续表）

术　语	定　义
ATR	空运架
AVT	加速起泡测试
AWG	美国线规
AXI	自动 X 射线检查
BC	掩埋电容
BDMA	苄基二甲胺
BGA	球栅阵列(封装)
BITE	内置测试设备
BOD	生化需氧量
BOM	材料清单
BOT	顺序建造
BT	双马来酰亚胺三嗪
BTAB	带凸焊点的载带自动键合
C3	命令、控制和交流
C4	受控折叠元件连接
CAD	计算机辅助设计
CAE	计算机辅助工程
CAF	阴极负离子碳丝
CAFM	计算机辅助设备管理
CAGE	商业政府实体
CALS	计算机辅助采集和后勤支持
CAM	计算机辅助制造
CAPP	计算机辅助工艺设计
CAR	计算机辅助修理
CASE	计算机辅助软件工程
CAT	计算机辅助测试
CBGA	陶瓷球栅阵列(封装)
CCAPS	电路卡装配和处理系统
CDA	敷铜发展协会
C&E	原因和效果
CET	认证电子技师
CEPM	认证 EMS 程序管理员
CFM	连续流制造
CFM	每分钟立方英尺
CIM	计算机集成制造

（续表）

术　语	定　义
CISC	复杂指令集计算机
CITIS	承包商综合技术信息服务
CMC	铜钼合金
CMOS	互补金属氧化物半导体
CNC	计算机数值控制
COB	板上芯片
COD	氧消费需求
COT	顺序配置
Cp	容量性能
CPL	低端容量性能
CPLD	复杂可编程逻辑装置
CPU	高端容量性能
CPU	中央处理器
CRC	循环冗余码校验
CRT	阴极射线管
CSA	加拿大标准局
CSG	结构实体几何
CSP	芯片级封装
CTE	热膨胀系数
CVS	循环溶出伏安法
DAB	指定审计机构
DATC	（美国）设计自动化技术委员会（IEEE）
DBMS	数据库管理系统
DC	直流
DCAS	（美国）国防合同管理服务
DCMA	（美国）国防合同管理局
DCMC	（美国）国防合同管理命令
DESC	（美国）国防电子供应中心
DFM	制造设计
DIM	数据信息记录
DIN	德国标准协会
DIP	双列直插封装
Dk	电介质常数
DLA	（美国）国防后勤局
DMA	直接存储器存取

（续表）

术　语	定　义
DMS	动态机械谱学
DMSA	（美国）国防制造和供应协会
DNC	分布式（直接）数字控制
DOD	（美国）国防部
DOD	溶解氧需求
DOE	试验设计
DOS	磁盘操作系统
DRC	设计规则检查
DRM	绘图要求指南
DS	双面的
DSC	差示扫描量热法
DSP	数字信号处理器
DTP	径向真实位置
DTS	成品直接入库
DVM	数字伏特计
DXF	数据交换格式
ECAD	电子计算机辅助设计
ECC	错误校正码
ECCB	（美国）电子元器件认证委员会
ECL	发射极耦合逻辑
ECM	电子对抗措施
ECN	工程变更标志
ECO	工程变更顺序
ECR	工程变更请求
ED	电镀
EDA	电子设计自动化
EDI	电子数据交换
EDIF	电子设计交换格式
EDM	电火花加工
EDO	扩展数据输出
EIA	（美国）电子工业联合会
EIS	工程信息系统
ELD	场致发光二极管
EMC	电磁兼容
EMF	电动势

（续表）

术　语	定　义
EMI	电磁干扰
EMP	电磁脉冲
EMPF	（美国）电子设备制造生产率研究所
EPA	美国环保署
EPR	乙丙烯聚合物树脂
EPT	乙丙烯聚合体
ESD	静电放电
ESI	早期供应商介入
ESR	等效串联电阻
ETPC	电解韧铜
FAA	（美国）联邦航空局
FAR	故障分析报告
FC-CBGA	倒装晶片陶瓷球状栅阵列封装
FCC	美国联邦通信委员会（Federal Communications Commission）
FCC	扁平导线电缆（Flat-conductor cable）
FC-PBGA	倒装晶片塑料球状栅阵列封装
FEA	有限元分析法
FEM	有限元建模
FEP	氟化乙丙烯（橡胶）
FET	场效应管
FFT	快速傅里叶变换
FMEA	故障节点和影响分析
FPGA	现场可编程门阵列
FPT	细节距技术
FSCM	制造商联合供货码
FTP	文件传输协议
GaAs	砷化镓
GBIB	通用接口总线
GMA	气体金属电弧（焊接）
GTA	气体钨电弧（焊接）
GTPBGA	团状顶部塑料球状阵列
HASL	热空气焊剂涂匀
HPGL	惠普图形语言
THE	高温延伸
HTML	超文本标记语言

（续表）

术　语	定　义
HTTP	超文本传输协议
I/O	输入输出（终端）
IC	集成电路
ICA	各向同性的导电黏合剂
ICAM	综合计算机辅助制造
IDC	绝缘层移位连接
IEC	国际电工委员会
IECQ	国际电子元器件合格鉴定系统
IEDR	初始工程设计评审
IEEE	国际电气和电子工程师学会
IEPS	国际电子封装协会
IGES	综合图形交换系统
ILB	内引线接合
IP	网际协议
IPM	英寸/分钟
IR	红外线
ISCET	国际审定电子技师协会
ISHM	国际混合微电子学会
ISO	国际标准化组织
ITT	交互测试时间
JEDEC	电子设备工程联合委员会
JIT	准时制
KGB	确认优良印制板
KGD	确认优良芯片
LAN	局域网
LBA	逻辑块地址
LCCC	无引线陶瓷芯片载体
LCD	液晶显示器
LDA	逻辑设计自动化
LED	发光二极管
LGA	基板栅格阵列
LIF	低插入力
LMC	最小材料情况
LPISM	液态光致成像焊剂掩模
LRU	最少可替换单元

（续表）

术　语	定　义
LSI	大规模集成电路
LTCC	低温共烧陶瓷
MA	机械利益
MAC	最大允许浓度
MAC	媒体接入控制
MAP	制造自动化协议
MATS	材料传输片
MCAD	计算机辅助机械设计
MCAE	计算机辅助机械工程
MCM	多芯片模块
MDA	二胺基二苯甲烷（Methylenedianiline）
MEK	甲基乙基酮（Methyl-ethyl ketone）
MELF	金属电极端面
MIBK	甲基异丁基酮（Methyl-isobutyl ketone）
MIR	湿绝缘电阻
MITI	（日本）国际贸易工业部
MLB	多层板
MLPWB	多层印制线路板
MMC	最大材料情况
MMIC	单片微波集成电路
MOS	金属氧化物半导体
MRP	材料需求规划
MRP II	制造资源规划
MSDS	材料安全性数据表
MSI	中规模集成电路
MTBF	平均故障间隔时间
MTTR	平均维修时间
NADCAP	美国国家航天和国防合同认可程序规划署
NASA	（美国）国家航空航天局
NBR	腈基丁二烯橡胶
NBS	美国国家标准局
NC	数字控制
NDT	非破坏性试验
NECQ	美国电子元器件合格评定系统
NEMA	美国电气制造商协会

（续表）

术　语	定　义
NIST	美国科学技术学会
NMR	正常模抑制
NSA	美国国家安全局
OA	有机酸（焊剂）
ODR	振荡盘式流变计
OEM	原始设备制造商
OFHC	无氧高导电性铜
OLB	外引线接合
OSHA	职业安全与危险法规
OSI	开放系统互连
OSP	有机可焊防腐剂
P&IA	封装及互连组装
P&IS	封装及互连结构
PBGA	塑料球栅阵列
PBX	专用小型交换机
PC	个人计算机
PCA	印制电路组装
PCB	印制电路板
PCMCIA	个人计算机存储卡国际协会
PDES	产品数据交换规范
PDL	页面描述语言
PEM	塑料电子组件
PGA	针栅阵列
PHIGS	程序员层次交互式图形系统
PID	感光电介质
PLCC	有引线塑料芯片载体
PLD	可编程逻辑器件
PPM	百万分之一
PPO	聚苯醚
PPS	聚苯硫醚
PRT	平面电阻器技术
PSI	每平方英寸磅数
PT	位置公差
PTFE	特氟龙
PTH	电镀通孔

（续表）

术　语	定　义
PVC	聚氯乙烯
PWA	印制线路组装
PWB	印制线路板
QFP	方形扁平封装
QML	合格制造商清单
QPL	合格产品清单
QTA	快速反转
R	松香（焊剂）
RA	活性松香（焊剂）
RAM	随机存取存储器
RETMA	无线电、电子、电视设备制造商协会（[美] 现为 EIA）
RFI	射频干扰
RFP	提案请求
RFQ	报价请求
RFS	与形体尺寸无关
RISC	精简指令集计算机
RMA	软激活松香（焊剂）
RMS	均方根
ROM	只读存储器
ROM	粗略数量级
RPM	转/分
RSS	升温恒温回流冷却（制程曲线）
RwoH	无密闭度可靠性
RTS	升温回流冷却（制程曲线）
RTV	室温硫化
SAE	美国汽车工程师学会
SBU	逐次增层法
SEC	溶剂萃取电导率
SEM	扫描电子显微镜
SEM	标准电子组件（美国海军）
SERA	时序电化学简化分析
SFM	每分钟表面行进英尺数
SIP	单列直插封装
SIR	表面绝缘电阻
SMD	表面贴装器件

（续表）

术　语	定　义
SMEMA	表面贴装设备制造商协会
SMOBC	裸铜板上焊料掩模
SMT	表面贴装技术
SMTA	表面贴装技术协会
SNA	系统网络体系结构
SOIC	小外壳集成电路
SOS	蓝宝石硅
SPC	统计过程控制
SPICE	主要用于集成电路的仿真程序
SQC	统计质量控制
SQL	结构化查询语言
SSI	小规模集成电路
STEP	产品模型数据的交换标准
TAB	载带自动接合技术
T's & C's	条款及条件
TCE	热膨胀系数
TCP/IP	传输控制协议/网际协议
TCR	电阻温度系数
TDR	时域反射测量
TEM	横电磁模
TFA	基于树的平面布置图算法
TFE	特氟龙（是一种树脂），化学名称为聚四氟乙烯
Tg	玻璃软化温度
TGA	热解质量分析
THT	通孔插装技术
TIFF	标签图像文件格式
TMA	热机械分析
TO	晶体管外壳
TOP	技术办公系统协议
TP	真实位置
TQM	全面质量管理
TTL	晶体管-晶体管逻辑（电路）
UBM	焊台底部金属化
UHF	超高频
UL	美国保险商实验室

术　语	定　义
ULSI	特大规模集成电路
URL	统一资源定位符
VAR	增值转售商
VHDL	超高速集成电路硬件描述语言
VHF	甚高频
VHSIC	超高速集成电路
VLSI	超大规模集成电路
VME	虚拟电子
VOC	挥发性有机物
VSAG	VHDL 标准和分析组织（IEEE）
WIP	在制品
WSI	晶片规模集成
WWW	万维网
WYSIWYG	所见即所得
XIP	原位执行
ZAF	Z 轴黏合剂薄膜
ZIF	零插入力
ZIP	曲折直插封装